

**UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS
FARBSEHVERMÖGEN
DES RINDES**

Renate Gräf

1977

Aus dem Institut für Tierzucht und Tierhygiene
Lehrstuhl für Tierzucht
des Fachbereichs Tiermedizin der Universität
München

Vorstand: Prof. Dr. H. Kräußlich
Arbeit angefertigt unter Leitung von
Prof. Dr. Dr. H. H. Sambraus

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS FARBSEHVERMÖGEN
DES RINDES

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
des Fachbereichs Tiermedizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität München

von

Renate Gräf

aus

Zell am See

München 1977

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Tiermedizin der Universität
München

Dekan: Prof. Dr. B. Vollmerhaus
Referent: Prof. Dr. Dr. H.H. Sambraus
Korreferent: Prof. Dr. G. Dirksen

Tag der Promotion: 29. Juli 1977



Untersuchungen über das Farbsehvermögen von Rindern

	Seite
<u>Inhaltsverzeichnis</u>	I - V
<u>Gliederung</u>	
1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Literaturübersicht zum Stand der Erkenntnisse des Farbsehens bei Tieren	3
2.1. Zur Theorie des Farbsehens	3
2.2. Methodische Ansätze zur Ermittlung des Farbsehens	6
2.3. Ergebnisse von Untersuchungen über das Farbsehvermögen bei verschiedenen Tier- arten	7
3. Material und Methodik der eigenen Untersu- chungen zum Farbsehen von Rindern	10
3.1. Untersuchungsmaterialien	10
3.1.1. Versuchstiere	10
3.1.2. Technische Einrichtungen der Versuchsanlage	11
3.1.3. Herstellung und Auswahl von Farb- und Grautafeln	12
3.2. Untersuchungsmethodik	16
3.2.1. Theoretische Grundlagen des Ver- suchsaufbaus	16
3.2.2. Technischer Versuchsaufbau	16
3.2.3. Dressurverlauf bei den Testserien	18
3.2.4. Bedeutung von Umwelteinflüssen auf den Versuchsaufbau	20
3.3. Verhaltensspezifische Unterschiede der einzelnen Testbullen	20

4. Ergebnisse der empirischen Verhaltensanalyse	22
4.1. Erfassung und Darstellung der Untersuchungsergebnisse	22
4.2. Farbspezifisches Wahrnehmungsvermögen der Testbullen und Hypothesenprüfung in den einzelnen Versuchsreihen	25
4.2.1. Rot mit Grau	25
4.2.2. Gelb mit Grau	31
4.2.3. Mittelblau mit Grau	36
4.2.4. Grün mit Grau	42
4.2.5. Hellblau mit Grau	47
4.2.6. Alle fünf Testfarben untereinander ohne Graustufen	52
4.2.7. Darstellung der Gesamtergebnisse	56
5. Diskussion der Untersuchungsergebnisse und anwendungsbezogene Aspekte	58
5.1. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse zum Farbsehen von Rindern	58
5.2. Verhaltensorientierte Weiterentwicklung der Untersuchungsmethodik	62
5.3. Anwendungsbezogene Bedeutung der Untersuchungsergebnisse in der praktischen Tierzucht	62
6. Zusammenfassung	65
7. Summary	66
8. Literaturverzeichnis	VI - IX
9. Anhang	X
9.1. Reflexionsintensitätswerte der Farb- und Graustufen	X
9.2. Spektralwerte der einzelnen Versuchsfarben in Prozent	XI
9.3. Versuchsaufbau Teil 1	XII
Teil 2	

Tabellenverzeichnis

R O T - G R A U

Tab. 1: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf die Graustufen I-VI (nachfolgend: Gesamtfehlerzahl Graustufen)	27
Tab. 2: Teil 1 - Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf die drei Futterkästen (nachfolgend: Gesamtfehlerzahl Futterkästen)	28
Teil 2 - Bevorzugung eines bestimmten Futterkastens bei Falschwahl der einzelnen Bullen (nachfolgend: Bevorzugung bei Falschwahl)	28

G E L B - G R A U

Tab. 3: Gesamtfehlerzahl Graustufen	32
Tab. 4: Teil 1 - Gesamtfehlerzahl Futterkästen	33
Teil 2 - Bevorzugung bei Falschwahl	33

M I T T E L B L A U - G R A U

Tab. 5: Gesamtfehlerzahl Graustufen	38
Tab. 6: Teil 1 - Gesamtfehlerzahl Futterkästen	39
Teil 2 - Bevorzugung bei Falschwahl	39

G R Ü N - G R A U

Tab. 7: Gesamtfehlerzahl Graustufen	43
Tab. 8: Teil 1 - Gesamtfehlerzahl Futterkästen	44
Teil 2 - Bevorzugung bei Falschwahl	44

H E L L B L A U - G R A U

Tab. 9: Gesamtfehlerzahl Graustufen	48
Tab. 10: Teil 1 - Gesamtfehlerzahl Futterkästen	49
Teil 2 - Bevorzugung bei Falschwahl	49

A L L E F A R B E N

Tab. 11: Farbwahl der einzelnen Bullen (Dezember 1976)	53
Tab. 12: Farbwahl der einzelnen Bullen (Februar 1977)	54
Tab. 13: Wahlverhalten, bezogen auf die drei Futter- kisten	55

G E S A M T E R G E B N I S

Tab. 14: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen	57
--	----

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Spektraler Kurvenverlauf der einzelnen Testfarben	15
--	----

R O T - G R A U

Abb. 2: Versuchsergebnisse pro Versuchsdurchgang von jedem Bullen (nachfolgend: Versuchsergebnis)	29
---	----

G E L B - G R A U

Abb. 3: Versuchsergebnis	34
--------------------------	----

M I T T E L B L A U - G R A U

Abb. 4: Versuchsergebnis	40
--------------------------	----

G R Ü N - G R A U

Abb. 5: Versuchsergebnis	45
--------------------------	----

H E L L B L A U - G R A U

Abb. 6: Versuchsergebnis	50
--------------------------	----

1. Einleitung und Problemstellung

Die wissenschaftlichen Arbeiten um das Farbsehvermögen von Tieren (z.T. auch nur Meinungen) divergieren stark und sprechen vor allem den Haustieren häufig ein Farbsehvermögen ab. Im Kernpunkt kritischer Diskussionsbemerkungen steht die Problematik eines experimentellen Nachweises der Sinnesempfindung "Farbe", wobei sich die geäußerte Skepsis vorwiegend auf die fehlende Verständigungsmöglichkeit bei Tieren konzentriert, die somit eine Sinnesempfindung nicht beschreibend zum Ausdruck bringen können, wie dies beim Mensch möglich ist.

Die vorliegende Arbeit unternimmt den Versuch, anhand systematisch beobachteter Verhaltensabläufe unter Hinzuziehung einer problembezogenen Dressur der Tiere zu statistisch nachprüfbareren Aussagen über die Farbwahrnehmung von Rindern zu gelangen. Sicherlich kann damit nicht das tierspezifische Farbempfinden nachvollzogen werden, es lassen sich aber gesicherte Aussagen zur Farbsehtüchtigkeit - dies steht hier als Untersuchungsziel im Mittelpunkt - bzw. Farbblindheit anhand dieses methodischen Ansatzes treffen.

Das Farbsehvermögen bei Rindern wurde bisher nur bei einem einzigen Zebu von HOFFMANN (1952) untersucht. Er verwendete als Dressurfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett in einem Futtermehrfachwahlversuch. Die farbmarkierten Futterkästen mußte das Tier unter mehreren Graustufen herausfinden. Dabei wurden bei allen Farben positive Ergebnisse erzielt. Ebenso konnte das Zebu Rot und Blau von allen anderen Testfarben unterscheiden. Bei der Unterscheidung des Grüns von Gelb und Orange traten Schwierigkeiten bei den Farbwahlen auf.

Frühere Arbeiten von KITTREDGE (1923), die Versuche mit einem Stierkalb machte und eine Sehschwäche bei Rot feststellte, sowie von STRATTON (1923), der bei Versuchen mit Rindern nur Verhaltensreaktionen auf Farben beobachtet hat und eine etwas er-

höhte Aufmerksamkeit bei Weiß feststellte, sind für eine umfassende Stellungnahme zum Farbsehvermögen von Rindern nur in Ansätzen zu verwenden.

Da bei der Arbeit von HOFFMANN (1952) nur ein Testtier herangezogen wurde, das mit unseren Hausrindern nur weitläufig verwandt ist, schien es sinnvoll, mit mehreren Tieren einer Hochleistungsrasse erneut Versuche zu unternehmen.

Bei den heutigen aufwendigen technischen Einrichtungen in Hochleistungsbetrieben der landwirtschaftlichen Tierhaltung stellt sich die Frage, ob mit einem gezielten Einsatz von Farben eine vorteilhafte Beeinflussung auf die Milch- bzw. Mastleistung erzielt werden könnte. Um solch einen Einsatz zu ermöglichen, muß zunächst einmal untersucht werden, ob Rinder Farben sehen und welche Farben sie erkennen können.

CENA (1964) hat bei Verhaltensuntersuchungen von Milchkühen in Offenstallhaltung schon erwähnt, daß man Kühen das Auffinden der eigenen Liegebox erleichtern könne, indem man entsprechende Farbmarkierungen anbringt. Einen erfolgreichen Einsatz von Farbmarkierungen verwendet man schon seit längerer Zeit in der Bienenzucht. Durch eine farblich unterschiedliche Gestaltung der Anflugöffnungen der Bienenstöcke konnte das Auffinden für die ausgeschwärmten Bienen erleichtert werden. Ebenso werden seit neuester Zeit Lichtreflektoren, die bei der Bestrahlung von Autoscheinwerfern rot aufleuchten, an Autobahnen und Schnellstraßen dazu verwendet, Wild vor dem Überqueren der Straßen abzuschrecken (ADAC-Zeitschrift 1975). Nicht zuletzt hat man umfassende Erkenntnisse in der Humanpsychologie gewonnen, wie Farben im Unterbewußtsein verschiedenartige Stimmungen erzeugen können. Diese Erkenntnisse werden jetzt, z.B. in einer farblichen Gestaltung von Schul- und Büroräumen, erfolgreich eingesetzt (FRIELING 1968).

2. Literaturübersicht zum Stand der Erkenntnisse des Farbensehens bei Tieren

2.1. Zur Theorie des Farbensehens

Ein Problem des Farbensehens besteht darin, daß die eigentliche Farbempfindung nicht meßbar ist, im Gegensatz zu physikalischen Eigenschaften des Lichts und dessen spektrale Zerlegung (SCHULTZE 1966). Grundlegende Arbeiten aus dem Bereich der Farbenlehre des 19. Jahrhunderts konnten erst mit Hilfe der heute verfügbaren Meßmöglichkeiten experimentell abgesichert werden und damit ihre Gültigkeit nachträglich bewiesen werden.

Solche Theorien sind z.B. folgende:

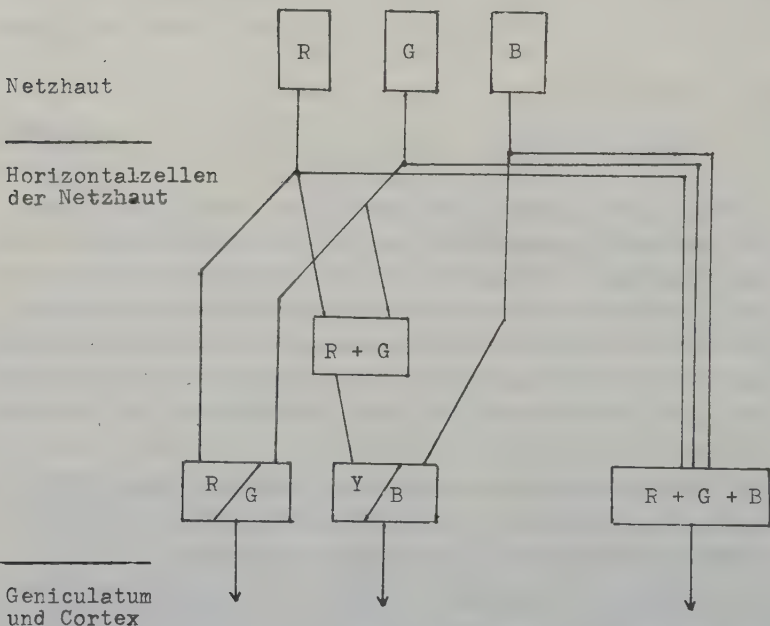
- a) Die Duplizitätstheorie (SCHULTZE 1865) (zit. in BUDDENBROCK 1952a), die aufzeigt, daß generell zwei verschiedene Rezeptoren für das Licht in der Retina vorhanden sind. Zum einen stäbchenförmige Rezeptoren, die sehr helligkeitsempfindlich und damit für das Dämmerungs- und Nachtsehen zuständig sind, zum anderen zapfenförmige Rezeptoren, die erst bei einem höheren Helligkeitswert erregt werden. Da ein Farbsehen nur ab einer bestimmten Helligkeit möglich ist, müssen diese Zapfen folglich für das Sehen am Tage und das Farbsehen verantwortlich sein.
- b) Die Young-Helmholtzsche-Dreifarbentheorie (1852), die angibt, daß drei verschiedene farbempfindliche Zapfen ausreichen müßten, um alle Farben wahrnehmen zu können.
- c) Die Heringsche Gegenfarben- oder Vierfarbentheorie (1878), die im Gegensatz zur Dreifarbentheorie einen gegensinnigen Erregungsprozess von vier verschiedenen Rezeptoren darlegt, so daß z.B. bei der Empfindung "Grün" die Rotempfindung unterdrückt wird.

(b) und c) zit. in TRENDELENBURG 1943)

Diese beiden letzten Theorien werden heute in der Zonentheorie zusammengefaßt (WALLRAVEN 1973), die aussagt, daß die Young-Helmholtzsche-Theorie für die Vorgänge in der Netzhaut aussagekräftig ist, während die Heringsche-Theorie ihre Gültigkeit für das Geniculatum und die Cortex besitzt.

Zonentheorie:

R = red
G = green
B = blue
Y = yellow



Quelle : Wallraven (1973)

Dieses vereinfachte Schema stellt die Farbreizüberleitung von der Netzhaut in das Gehirn dar. In der Netzhaut werden drei verschiedene Rezeptoren (= Zapfen) beim Lichteinfall erregt, wobei die Maxima der einzelnen Zapfen einmal im roten bzw.

grünen oder blauen Wellenlängenbereich liegen. Diese Erregungspotentiale werden in die Horizontalzellen der Netzhaut weitergeleitet, in denen sie vermutlich entsprechend dem Schema der Abbildung geschaltet werden, und zwar wird eine gleichzeitige Erregung der rot- und grünempfindlichen Rezeptoren als eine Gelbempfindung weitergeleitet, ebenso werden die Signale für Rot und Grün bzw. Gelb und Blau so gesteuert, daß eine gleichzeitige Empfindung dieser Gegenfarben ausgeschlossen ist. Die Summe der Erregungspotentiale im Rot-, Grün- und Blaubereich wird als Helligkeitsempfindung in das Genikulatum und die Cortex weitergeleitet.

Als weitere experimentell gesicherte Aussagen gelten folgende Ermittlungen.

Es gibt für die Zapfen drei verschiedene Sebstoffe, die mit dem Sehpurpur der Stäbchen verwandt sind. Sie unterscheiden sich durch unterschiedliche spektrale Empfindlichkeitsmaxima, die aber, da sie sich überlagern, nicht genau bestimmbar sind (RICHTER 1976). Die Farb- und Helligkeitserregung werden durch verschiedene Systeme in das Sehzentrum übertragen (nach GRANIT in SCHÖBER 1957). Die Helligkeitserregung wird durch die Dominatoren übertragen, die vorwiegend in den Schaltorganen der Netzhaut liegen. Die Farbempfindung wird durch Modulatoren, die in den Zapfen vorhanden sind, übergeleitet, wobei man Rot-, Grün- und Blaumodulatoren unterscheidet. Diese Modulatoren vereinigen sich im Sehzentrum und bilden so die Sinnesempfindung einer bestimmten Farbe. Diese Sinnesempfindung ist jedoch physikalisch nicht meßbar, obwohl die Vorstufen dazu genau erfaßt werden können, z.B. kann bei der Sinnesempfindung Gelb der ganze spektrale Bereich von Grün bis Rot vorhanden sein, man kann sogar aus diesem spektralen Bereich das Gelb herausfiltern und erhält immer noch die gleiche Sinnesempfindung (SCHULTZE 1966).

Diese Aussage trifft schon das erste GRABMANNSCHE Gesetz (1858) (zit. in SCHOBER 1950): "Für das Aussehen der Farbmischung ist lediglich das Aussehen der in der Mischung benutzten Farbvalenzen, nicht aber ihre physikalische Entstehung maßgebend".

2.2. Methodische Ansätze zur Ermittlung des Farbsehens

Durch diese Erkenntnisse ist es möglich, auf unterschiedlichen Wegen zu einem Nachweis für die Farbsehtüchtigkeit von Tieren zu gelangen.

- a) Durch ein histologisches Nachweisverfahren kann die Existenz von Zapfen in der Retina nachgewiesen werden. Dieser Nachweis ist aber nur bedingt zu verwenden, da die Existenz von Zapfen noch keine intakte Übertragung der Sinnesempfindung zum Gehirn beweisen kann. Diese Tatsache konnte man an einer Erdkröte (*Bufo bufo*) ermitteln, die, trotz nachweisbaren Zapfen in der Retina, völlig farbenblind war (von BUDDENBROCK 1952b).
- b) Mit Hilfe der elektrophysiologischen Untersuchung nach GRANIT (1943) (zit. in BUDDENBROCK 1952 a) ist es möglich, eine Potentialänderung in den Zapfen bei Erregung mit farbigem Licht zu messen. Die Weiterleitung der Potentialspannung und die Gehirnreaktion ist jedoch damit nicht meßbar.
- c) Nachweise über die Ermittlung der optomotorischen Reaktion (DÜCKER 1959) oder Atemfrequenzänderung (BROWN 1936), auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, sind hauptsächlich bei kleineren und niedrigeren Tieren verwendbar, bei denen Dressur und Verhaltensbeobachtungen nicht zum Ziel führen.
- d) Das häufigste und sicherste Nachweisverfahren ist wahrscheinlich das Beobachten der unterschiedlichen Verhal-

tensreaktionen der Tiere auf versuchsbedingte Änderungen von Farben und Helligkeiten. Damit kann man nicht allein das Vorhandensein oder Fehlen der Sinnesempfindung für farbiges Licht testen, sondern man kann auch ermitteln, inwieweit die Tiere die einzelnen Farben voneinander unterscheiden können.

2.3. Ergebnisse von Untersuchungen über das Farbsehvermögen bei verschiedenen Tierarten

Da man nicht unbedingt davon ausgehen kann, daß Tiere eine spontane Reaktion auf Farben zeigen, muß man mit Hilfe von Dressuren zu entsprechenden Aussagen kommen. Für solche Dressuren gibt es aber kein einheitliches Verfahren, so daß oft unterschiedliche Ergebnisse entstehen, die man manchmal nur schwer miteinander vergleichen kann.

GORDON (1970) vertritt z.B. die Meinung, daß Wiederkäuer keine Farben sehen. Er stützt sich dabei auf die Aussage von DARLING (1937) über Rothirsche und auf seine eigenen Untersuchungen am Schaf (1949). RIESE (1975) dagegen erzielte bei Schafen positive Ergebnisse bei Rot, Blau, Grün, Gelb, Orange und Violett. Ein ebensogutes Farbsehvermögen konnte BACKHAUS (1959a) bei einer Zwergziege, einem Rothirsch und einer Giraffe (1959 b) feststellen. Nur eine Nilgauantilope konnte bei den Versuchen Grün und Blau nicht von Grau unterscheiden, sie erkannte aber Rot, Orange und Gelb.

Beim Hausschwein konnten KLOPPER und BUTLER (1964) ein Farbsehvermögen feststellen, das in etwa dem des Menschen entspricht. GRZIMEK (1952) bewies bei zwei Pferden ein Farbsehvermögen für Rot, Blau, Grün und Gelb.

Die wohl umstrittensten Tiere sind in diesem Zusammenhang Katze und Hund. Bei der Katze ermittelten, um nur einige herauszugreifen, COLVIN und BURFORD (1909), KALISCHER (1929),

BUCHHOLTZ (1952) und BROWN et al. (1973) ein Farbsehvermögen, dagegen stellten DEVOSS und GANSON (1915), GREEG (1929), GUNTER (1954) und MEYER und MILES (1954) kein Farbsehvermögen fest. Auch die Ergebnisse der histologischen Untersuchungen sind unterschiedlich. MENNER (1929) behauptet, die Retina der Katze enthalte wenig Zapfen, während WALLS (1942) (zit. in DÜCKER 1957) viele Zapfen erkennen konnte. Schließlich spricht GRANIT (1943,50) (zit. in DÜCKER 1957) nach elektrophysiologischen Untersuchungen der Katze eine Farbsehtüchtigkeit zu.

Ähnliche Verhältnisse liegen beim Hund vor, die nicht näher aufgezählt werden sollen. Interessant sind vor allen Dingen zwei Arbeiten über diese zwei Tierarten, und zwar erstens die Versuche von BUCHHOLTZ (1952) mit einer Katze, die eine Dressur aufgrund des Beutespieltriebs des Tieres entwickelte. Die Katze durfte bei den Versuchen mit Mäuseattrappen nur mit den farbigen Mäusen spielen, während das Spiel mit den grauen Attrappen unterbunden wurde. Sie kam bei ihren Versuchsreihen auf positive Ergebnisse. Ebenso dressierte NAGEL (1909) einen Hund darauf, farbige Gegenstände zu apportieren. Auf den Zuruf "Rot" oder "Grün" fand er die richtige Farbe unter verschiedenen farbigen Gegenständen heraus. Diese beiden Autoren gingen somit sehr wesentlich auf das Verhalten ihrer Tiere ein. Es ist unbedingt notwendig, die jeweilige Eigenart der zu dressierenden Tiere genau zu beobachten und ihr Interesse an den Dressuren zu wecken.

GEWALT (1959) stellte z.B. bei seiner Arbeit mit Musteliden fest, daß für sie die Belohnung bei einer richtigen Wahl nicht allein der Fleischbrocken war, den sie im Versuchskasten vorfanden, sondern vielmehr das Hindurchschlüpfen in den Kasten. Somit genügte es nicht als Anreiz zu richtigen Wahlen das Futter im negativen Kasten wegzulassen, der Kasten mußte auch noch zusätzlich verriegelt werden.

Es besteht außerdem die Frage, ob es für ein Tier wichtig ist, Farben erkennen zu können. DÜCKER und SCHULZE (1973)

stellten fest, daß Blaukehlchen am besten im Blaubereich, Rotkehlchen dagegen besser im Rotbereich sehen. Ebenso beschrieb RENSCH (1957), daß der Kapuzineraffe und der Schimpanse die blaue Farbe vernachlässigen, während die Meerkatze, deren Bauchhaut und Hodensack hellblau sind, Blau genauso häufig wie andere Farben wählte. Somit ist die Farbe für diese Tiere wichtig, um den Partner bzw. den Rivalen gut zu erkennen. Dagegen dürfte bei der Katze, die ja hauptsächlich ein Nachttier ist, das Farbsehvermögen keine besonders große Rolle spielen; ebenso nicht beim Hund, der vom nächtlich lebenden Wolf abstammt. Das bewies A. SAMOJLOFF (1907), der bei einem Hund nach einer gut gelernten Dressur zwischen Grün und Grau, der positiven grünen Tafel eine andere Form gab als die gewohnte. Der Hund ging daraufhin zur negativen grauen Tafel mit der bekannten Form. Auch STRATTON (1923) hat durch seine Wahlversuche ohne Dressur gezeigt, daß Rinder, falls sie Farbe sehen und unterscheiden können, diese ihnen relativ gleichgültig sein muß, da sie keine spontane Reaktion auf unterschiedliche Farben zeigten.

Es ist somit eine recht schwierige Aufgabe, den Tieren, die von Natur aus nicht auf Farben achten, in einer Dressur die Bedeutung der Farbe zu vermitteln. Möglicherweise ist hierin eine Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse mancher Autoren zu sehen. Ein negatives Ergebnis kann auch auf einen Dressurfehler zurückzuführen sein und ist deshalb kein Beweis für die Farbblindheit dieser Tiere. Dagegen muß bei positiven Ergebnissen nachgeprüft werden, ob jegliche Beeinflussung durch Personen ausgeschlossen werden kann.

3. Material und Methodik der eigenen Untersuchungen zum Farbsehen von Rindern

Da bei Rindern das wohl wesentlichste und dauerhafteste Interesse an der Futteraufnahme besteht, wurden die folgenden Versuche mit dem Prinzip des Futterwahlversuches durchgeführt, wie er von der überwiegenden Zahl der vorhergenannten Autoren angewandt wurde. Dieses Prinzip wurde hier in Form eines Dreifachwahlversuches realisiert, wobei das Versuchstier von drei angebotenen Futterkästen, von denen einer mit einer Farbtafel und die beiden anderen mit Grautafeln markiert waren, jeweils den farbmarkierten Kasten auswählen mußte (Versuchsaufbau vgl. S. 16).

Da eine spontane Bevorzugung der Farbe nicht erwartet werden konnte, mußten die Versuchstiere durch eine Dressur zu diesem Wahlverhalten hingeführt werden.

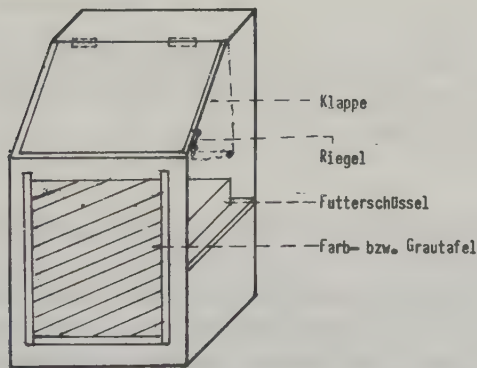
3.1. Untersuchungsmaterialien

3.1.1. Versuchstiere

Zu den Versuchen wurden sechs Jungbullen der Rasse Holstein-Frisian herangezogen, die zu Beginn der Versuche etwa ein halbes Jahr alt waren. Sie wurden in Einzelboxen großgezogen und hatten nur Umgang mit Menschen, wodurch sie sehr zutraulich waren, was die Arbeit mit ihnen erleichterte. Die Bullen erhielten nach der Reihenfolge der Boxen Namen von A bis F. Bulle A, B, C und F stammen von dem Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim, Bulle D und E wurden von einem Händler gekauft.

3.1.2. Technische Einrichtungen der Versuchsanlage

Futterkästen:



Quelle : Eigener Entwurf

Die drei Futterkästen waren alle gleich gebaut. Sie hatten vorn eine Höhe von 60 cm, hinten eine Höhe von 80 cm und hatten einen Grundriß von 50 x 60 cm. An der Vorderseite waren sie zur Hälfte mit einer horizontal befestigten Klappe versehen, die durch ein Zugseil, an dem ein Gewicht befestigt war, in schräger Lage die Öffnung des Kastens verschloß. Die Klappe konnte durch ein Andrücken der Tiere mit dem Maul leicht geöffnet werden. Unterhalb jeder Klappe war ein Haken angebracht, so daß sie verriegelt werden konnte, ohne daß es die Tiere bemerkten. Im Kasten war etwas unterhalb der Öffnung ein Brett befestigt, auf dem eine Futterschüssel stand. An der Vorderseite der Kästen waren zwei Schienen angebracht, in die Farb- bzw. Grautafeln eingeschoben werden konnten. Die Hinterseite der Kästen war offen, so daß nach jedem Versuchsdurchgang das Futter leicht ein-

gefüllt werden konnte. Die Kästen standen zwischen dicken Falken, die von den Tieren nicht verschoben werden konnten und somit immer ein konstanter Abstand von 30 cm zwischen den Kästen gewährleistet war. Über den Kästen war ein Dach angebracht, damit sie immer im Schatten standen, um so unterschiedliche Lichtverhältnisse möglichst gering zu halten.

Das Versuchsgelände war mit einem elektrischen Zaun umgeben, damit der Raum, in dem die Bullen frei laufen konnten, eingeschränkt wurde.

3.1.3. Herstellung und Auswahl von Farb- und Grautafeln

Die Versuchstafeln bestanden aus einem 20 x 40 cm großen Karton, der mit Pelikan-Plakafarbe von der Firma Wagner eingefärbt war. Als Farbtöne wurden die Plakafarben Rot Nr. 22, Blau Nr. 30 (weiterhin als Mittelblau bezeichnet), Gelb Nr. 11, Grün Nr. 44, Hellblau Nr. 37 verwendet. Als Grautöne wurde Plaka Weiß Nr. 1 mit Schwarz Nr. 70 so gemischt, daß eine kontinuierliche Reihenfolge von Helligkeitsstufen entstand.

Die Helligkeiten der Farb- und Graustufen wurden mit Hilfe eines Pritschart-Photometers gemessen.¹ (Genaue Meßangaben siehe Anhang). Die Messungen fanden in einem Raum statt, der ausschließlich von Tageslicht erhellt wurde und zwar in der Zeit von 9 - 11 Uhr. Da am Meßtag wolkenloser Himmel vorherrschte, genügte eine Korrektur der Helligkeitsintensitätsänderung mit einer Nachprüfung durch Normalweiß bei jeder 8. - 10. Messung.

1: Die Messungen fanden am Medizinisch-Optischen-Institut der Universität München mit einem Spectra[®] Pritschart-Photometer Modell 1970 PR statt.

Unter 50 Graustufen wurden 24 für die Versuche ausgewählt und zwar so, daß jeweils sechs Grautöne im Helligkeitsbereich einer Farbe lagen. Die einer Farbe zugeordneten Graustufen werden mit I - VI bezeichnet, wobei I immer die jeweils hellste, VI die jeweils dunkelste Graustufe ist. Die Graustufen I - VI unterscheiden sich in der Helligkeit von der zugehörigen Farbe um etwa ± 5 Prozentpunkte absolut von der Reflexionsintensität der Farbe, die Graustufen II und V lagen bei Werten von $\pm 0,5 - 1,0$ Prozentpunkten absolut, Graustufen III und IV waren hellkeitsgleich bzw. wichen maximal um höchstens 0,2 Prozentpunkte absolut von der Helligkeit der zugehörigen Farbe ab (Vergl. hierzu genaue Wertangaben im Anhang).

Die ganze Grauserie (24 Graustufen)¹ zusammen mit einer Farbe anzubieten, ist nicht vorteilhaft, da die vermutete wesentliche Fehlerquelle bei der Unterscheidung zwischen der Helligkeit der Farbe und der Helligkeit der eng daneben liegenden Grautöne bestehen wird. Da man aber nicht feststellen kann, welche Helligkeit der Grautöne in der Wahrnehmung der Tiere genau der Helligkeit der Farbe entspricht, muß man mehrere Grautöne anbieten, um verschiedene Verwechslungsmöglichkeiten zu testen. Außerdem konnte, da für jede Farbe somit eine entsprechende Skala von Grautönen vorhanden war, ausgeschlossen werden, daß den Tieren die Abstufung der Grautöne bei Farbwechsel bereits bekannt ist.

Da der Meßapparat auf das Helligkeitsunterscheidungsvermögen der Menschen geeicht ist und Tiere Helligkeiten vielleicht besser als der Mensch unterscheiden können (Hypothese), wurden für jede Farbe noch zwei unterschiedliche Verdünnungen hergestellt, die sich von der Hauptfarbe um $\pm 0,2 - 0,5$ Prozentpunkte absolut in der Reflexionsintensität unterscheiden.

1: Aus den Versuchsergebnissen für Mittelblau ergab sich die Notwendigkeit eines Ergänzungstestes mit Hellblau, wofür zusätzlich sechs zugehörige Graustufen angefertigt wurden.

Unter der Hypothese, daß die Tiere nur die Helligkeit der Farbe gelernt haben, müßten sie bei den Zusatzversuchen, bedingt durch die damit neue Situation, die Farbe mit den Grautönen vermehrt verwechseln.

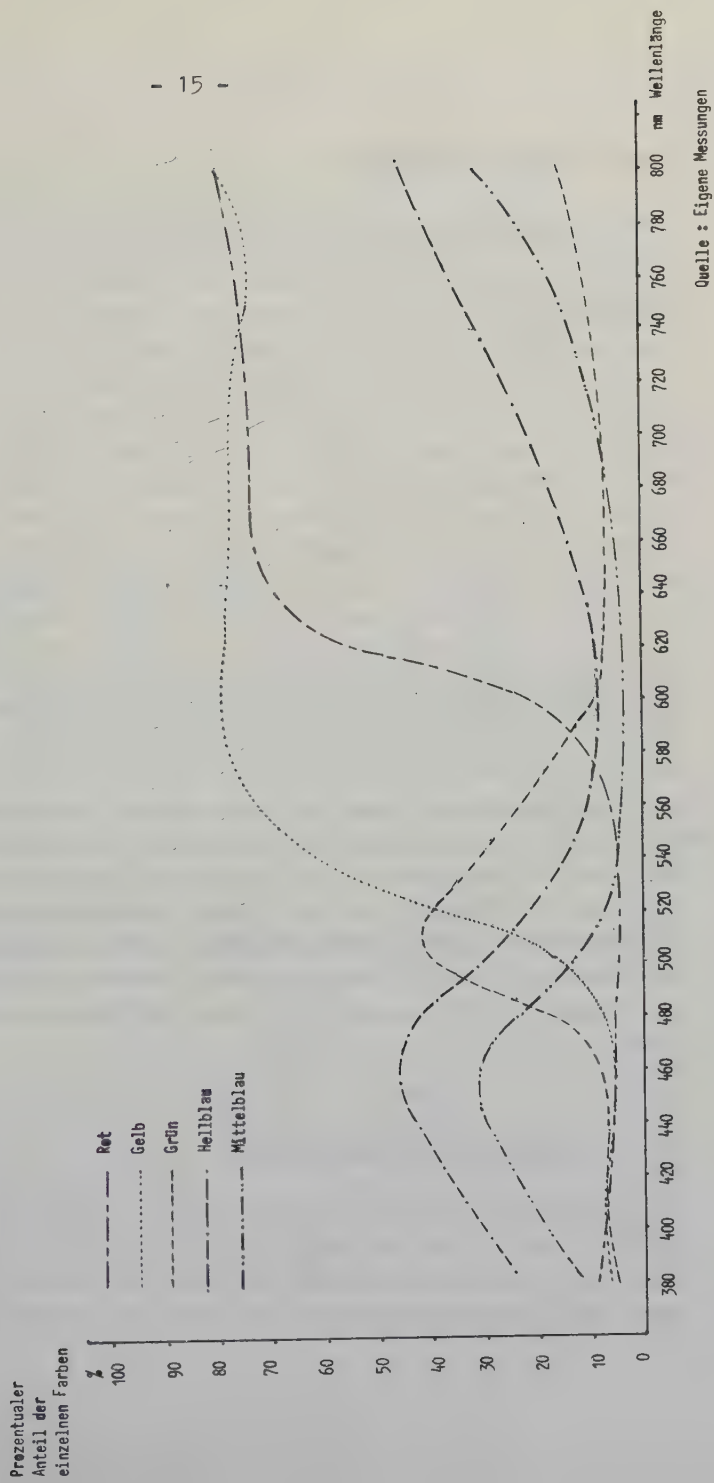
Der spektrale Bereich der Farben wurde mit einem Spektralphotometer¹ gemessen (Spektralkurven siehe S. 15). Alle als Gelb empfundenen Farbtöne liegen, außer bei der Na-Flamme und den speziellen Spektrallampen, im gesamten spektralen Bereich von Grün bis Rot. Alle anderen Testfarben liegen in ihrem speziellen Wellenlängenbereich. Außer bei Grün liegt bei allen Farben ein relativ hoher Infrarotanteil vor, der nicht herausgefiltert werden kann (Genaue Werte siehe Anhang).

Alle Versuchstafeln waren mit einem farblosen Lack beschichtet und zusätzlich mit einer selbstklebenden Plastikfolie überzogen, um eine eventuelle geruchliche Orientierung sicher ausschließen zu können.

Die Messungen fanden nach der Beschichtung und dem Plastiküberzug statt. Lichtreflexe und Spiegelungen waren durch den Einfallswinkel des Lichtes bei der Versuchsanordnung nicht vorhanden.

1: Systemphotometer PMQ 3 von Zeiss

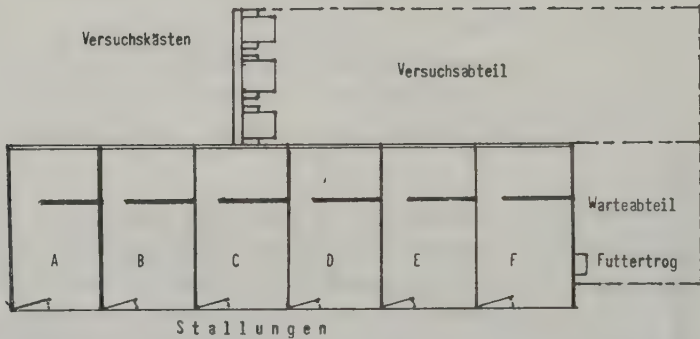
Abb. 1: Spektraler Kurvenverlauf der einzelnen Testfarben



3.2 Untersuchungsmethodik

3.2.1. Theoretische Grundlagen des Versuchsaufbaus

Versuchsgelände:



Die Versuche fanden hinter den Ställen der Versuchstiere statt. Das Versuchsgelände war eingeteilt in ein Wartebereich und ein Versuchsabteil, die auf der einen Seite von den Ställen begrenzt, auf der anderen Seite von einem elektrischen Zaun umgeben waren. Vom Wartebereich aus konnten die Tiere nicht in das Versuchsabteil einsehen und somit den jeweiligen Wechsel des Farb- bzw. der Grautöne nicht beobachten.

3.2.2. Technischer Versuchsablauf

Die Versuche fanden in der Regel täglich, vormittags von 9.30 Uhr bis 12 Uhr und nachmittags von 13 Uhr bis 15.30 Uhr statt. So konnten pro Tag mit jedem der sechs Bullen zwei Versuchsdurchgänge durchgeführt werden, wobei ein

Versuchsdurchgang aus zehn Einzelversuchen bestand. Demnach fanden pro Tag insgesamt 120 Versuche statt.

In allen Futterkästen war Futter vorhanden, um eine geruchliche Orientierung auszuschließen. Die Klappen der Kästen, bei denen jeweils die grauen Tafeln steckten, wurden mit einem Riegel verschlossen, so daß die Tiere nur den mit der Farbtafel versehenen Kasten öffnen konnten. Die Riegel waren von außen nicht zu sehen. In den Futterkästen wurde Kraftfutter (Mais-Getreide-Schrot), im Warteteil Gras bzw. für zwei Bullen Milch angeboten. Bei den Versuchen im Winter wurde anstatt Gras Maissilage verwendet. Die Menge des Futters reichte jeweils für einen Versuchsablauf, so daß während der Versuche nicht nachgefüllt werden mußte.

Im Warteteil mußten die Tiere sich so lange aufhalten, bis die Karten umgesteckt waren. Während dieser Zeit wurden sie von ihrem Pfleger gehalten und gefüttert. Danach wurden sie dort freigelassen und mußten selbständig in das Versuchsabteil gehen. Dadurch wurde eine Beeinflussung durch eine Führung ausgeschlossen. Beobachten konnte man sie durch einen Spalt zwischen der Stallwand und einer Dachrinne, wodurch verhindert wurde, daß ihnen durch unbewußte Zeichen Hilfe gegeben werden konnte. Durch fremde Personen ließen sie sich nur wenig beeinflussen, selbst wenn diese im Versuchsabteil standen.

Bei richtiger Wahl durften die Bullen eine Weile fressen und gingen dann mehr oder weniger selbständig in das Warteteil zurück. Bei falscher Wahl wurde ihnen "falsch" oder "nein" zugerufen und sie wurden sofort zurückgeführt, damit sie möglichst keine Zeit mehr hatten durch Probieren den richtigen, farbmarkierten, d.h. unverriegelten Kasten zu öffnen, um dort zu fressen.

3.2.3. Dressurverlauf bei den Testserien

Das Öffnen der Kästen lernten die Bullen nach fünf bis acht Versuchen, da hierbei das gleiche Prinzip wie bei den Selbsttränken vorlag. Nur Bulle C, der durch eine Verletzung der Nasenscheidenwand Schwierigkeiten mit seinem Nasenring hatte, öffnete erst selbstständig, nachdem der Nasenring wieder entfernt worden war.

Die Dressurversuche begannen am 15. Juni 1976 an einem Kasten, wobei an den ersten zwei Tagen nur das selbstständige Hingehen und Öffnen des Kastens geübt wurde. Danach wurde ein zweiter Kasten angeboten und gleichzeitig ein hellgrüner und grauer Karton, die nicht photometrisch bestimmt waren. Die Tiere nahmen den neuen Kasten sofort an, ohne auf die Karten zu achten. Auch als nach weiteren drei Tagen der dritte Kasten dazugestellt wurde und eine neue Graustufe angeboten wurde, konnte keinerlei Reaktion darauf festgestellt werden. Die Karten wurden bei diesen Versuchen auf den Klappen der Kästen befestigt. Auch als sie auf die Kästen gestellt wurden, beachtete sie keines der Tiere. Erst als sie vorn am Kasten angelehnt waren, wurden sie angesehen und beschnuppert. Daraufhin wurde für alle weiteren Versuche eine Befestigung an der Vorderseite der Kästen so angebracht, daß die Karten leicht eingeschoben werden konnten.

Bei den weiteren Versuchen wurden die Bullen an den farbmarkierten Kasten hingeführt, oder ich stellte mich hinter diesen Kasten, rief sie und schwenkte gleichzeitig den grünen Karton hin und her, um sie auf ihn aufmerksam zu machen. Zwischen den Dressurversuchen mußten die Tiere einige Versuche ohne jegliche Hilfe absolvieren und wurden bei zufälliger Richtigwahl besonders gelobt.

Als Dressurfarbe wurde Grün gewählt, weil es einen etwa mittleren, begrenzten Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes besitzt und es nach Angaben über andere Tierarten (HOFFMANN 1952, RIESE 1975) bei Grün zu keiner Schwierigkeit der Farberkennung kam.

In den ersten Tagen konnten pro Tier nur jeweils vier bis fünf Versuche erreicht werden, da die Tiere danach zu unruhig und unkonzentriert wurden. Ihr Interesse steigerte sich aber, nachdem sie außer Heu nur bei den Versuchen Futter bekamen. Nach etwa 14 Tagen waren sie dann willig, zwei Versuchsdurchgänge mit je zehn Einzelversuchen durchzuführen. Mehr Versuche waren zeitlich nicht möglich.

Bei der Dressur erwies es sich als ungünstig, ihnen zur Strafe einen Stock zwischen die Füße zu werfen. Sie weigerten sich dann mit der Zeit, zu den Versuchskästen vorzugehen, es genügte, ihnen "falsch" oder "nein" zuzurufen. Nicht ausreichend war es, sie zur Strafe kein Kraftfutter aus dem Versuchskasten aufnehmen zu lassen, da die Tiere das Gras bzw. die Milch dem Kraftfutter vorzogen und somit das eigentliche Lob erst das Futter im Warteabteil war. Somit durften sie nach einer Falschwahl dort ebenfalls kein Futter mehr aufnehmen. Das Lieblingsfutter in den Kästen anzubieten war nicht erfolgreich, da sie dann bei verschlossenem Kasten einfach den Riegel zerbrachen und nicht mehr freiwillig in das Warteabteil zurückgingen. Es war ebenfalls nicht möglich, die Tiere im Warteabteil sich selbst zu überlassen, während die Karten umgewechselt werden mußten. Sie liefen trotz Futterangebot meist unruhig hin und her und durchbrachen mehrmals den Zaun. Deshalb mußte bei jedem Versuch ihr Pfleger dabei sein, der sie ins Warteabteil zurückführte und sich dort mit ihnen beschäftigte.

Auch der elektrische Zaun irritierte sie so sehr, daß er nach wenigen Tagen abgeschaltet werden mußte. Durch ruhiges Zu-

reden lernten sie auch ohne elektrische Sicherung, daß sie nur in dem begrenzten Raum herumlaufen durften.

3.2.4. Bedeutung von Umwelteinflüssen auf den Versuchsablauf

Obwohl die Tiere immer in gleicher Reihenfolge und damit etwa zur gleichen Tageszeit ihre Versuche durchführen mußten, konnte nicht verhindert werden, daß an manchen Tagen durch unterschiedliche Bewölkung Abweichungen in der Farbtemperatur des Tageslichts und in den Helligkeitsverhältnissen vorlagen. Leistungsvergleiche bei extremen Witterungsverhältnissen wie starke Bewölkung oder wolkenloser Himmel, ergaben aber keine Beeinflussung (direkte Sonnenbestrahlung wurde durch eine Überdachung verhindert). Eine ebenso geringe Beeinflussung bewirkten die Wetterverhältnisse selbst, nur bei Föhn waren die Tiere auffallend aggressiver, zeigten aber keinen Leistungsabfall.

3.3. Verhaltensspezifische Unterschiede der einzelnen Testbullen

Bullen:

A: Er wurde am 26.10.1975 geboren, Vater war der Bulle Disko.

Bulle A war sehr phlegmatisch, ging nur sehr langsam zu den Versuchskästen und zurück, war aber nur wenig aggressiv und ließ sich leicht führen. Er lernte die Dressur auf Grün in etwa 150 Versuchen, d.h., daß er Ergebnisse von mehr als sieben Richtigwahlen pro zehn Versuche erreichte. Gemessen am gesamten Versuchsergebnis war er der Drittbeste.

B: Dieser Bulle wurde am 2.11.1975 geboren, der Vater war ebenfalls der Bulle Disko. Er war sehr fügsam, wurde fast nie

aggressiv und ließ sich durch Umweltstörungen kaum beruhigen. Beim Versuch ging er aber sehr langsam und ließ sich nur ungern zur Eile antreiben. Die Dressur lernte er ebenfalls nach 150 Versuchen und war im Gesamtablauf der beste Bulle.

- C: Am 12.11.1975 wurde er geboren, Vater war der Prüfbulle Nr. 387. Am Anfang hatte er durch eine Verletzung Schwierigkeiten mit seinem Nasenring, was die Dressur etwas erschwerte. Meist ließ er sich willig führen, und man konnte ihn durch Zuruf bei der Dressur gut lenken. Seine Stimmung konnte sich aber auch schnell ändern, er neigte dann zu spontaner Aggressivität. Im Warteabteil trank er am liebsten Milch und legte die ganze Versuchsstrecke im Trab zurück. Erst nach 250 Dressurversuchen zeigte er die ersten positiven Ergebnisse und war an vierter Stelle in der gesamten Beurteilung.
- D: Geboren wurde er am 20.11.1975. Über seine Abstammung liegen keine Angaben vor. Er war der schwierigste von allen Bullen, da er sehr verspielt war und sich leicht ablenken ließ. Auch war er sehr sensibel, man durfte ihn kaum strafen, sonst verweigerte er weitere Wahlversuche. Er fraß nur sehr wenig Kraftfutter und fast kein Gras, so daß er damit kaum zu locken war. Bei der Dressur brauchte er mit 280 Versuchen die längste Zeit und war im Gesamtverlauf der schlechteste Bulle.
- E: Auch bei ihm liegen keine Angaben über Abstammung vor. Geboren wurde er am 22.11.1975. Am Anfang war er noch sehr scheu und schreckhaft, wurde dann etwas eigensinnig und verfiel leicht in eine Seitenstetigkeit, d. h. er bevorzugte einen bestimmten Futterkasten, ließ sich aber in der Dressur durch Zuruf leicht lenken. Sobald bei einer Falschwahl "nein" gerufen wurde, kam er sofort zurück und wählte gleich noch einmal. Er war der schnell-

ste von allen, nahm nur wenig Kraftfutter auf und lief dann selbständig zurück ins Warteteil, wo er ebenfalls Milch zu trinken bekam. Dort durfte man ihn nicht zu lange warten lassen, weil er sonst sehr schnell unruhig und versuchsunwillig wurde. Seine Eigenart bestand darin, immer erst zum linken Kasten hinzulaufen, um sich dann etwa einen Meter vorher zum richtigen Kasten zu wenden. Nach 260 Dressurversuchen lernte er die Aufgabe und zeigte im Gesamtergebnis die gleiche Leistung wie der Bulle C.

F: Er wurde am 27.11.1975 geboren und stammte ebenfalls vom Bullen Disko ab. Als aggressivster aller Bullen ließ er sich kaum führen und hatte nur sehr wenig Respekt vor dem Stock. Durch Besucher ließ er sich als Einziger sehr leicht irritieren und machte dann vermehrt Fehler. Bei dem Zuruf "nein" trat er manchmal zwei Schritte von den Kästen zurück, schaute sich alle Tafeln noch einmal an und wählte dann meist richtig. Er brauchte 150 Dressurversuche und war im Gesamtablauf fast ebenso gut wie der beste Bulle B.

4. Ergebnisse der empirischen Verhaltensanalyse

4.1. Erfassung und Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Bei jedem Versuch wurde notiert, ob der jeweilige Bulle richtig oder falsch wählte. Als Richtigwahl wurde das Öffnen der Klappe gewertet. Bei Falschwahl wurde noch berücksichtigt, welchen Kasten bzw. Grauton der Bulle aufsuchte. Da bei jedem Versuch die Graustufen untereinander gewechselt wurden und auch der Ort der Farbtafeln fast ständig geändert wurde (Schema siehe Anhang), mußten die Tiere, um richtig zu wählen, die Farbe von den Grautönen unterscheiden können. Da bei drei Kästen die Zufallswahrscheinlichkeit für die Wahl des farbmarkierten Kastens $1/3$ beträgt, kann man bei drei bis vier

Richtigwahlen pro zehn Versuche von einer Zufallswahl sprechen. Da als Hypothese nur eine Graustufe eine erhöhte Verwechslungsmöglichkeit bietet -wobei die Graustufe nicht bekannt ist- und alle Graustufen bei jedem Versuch drei bis vier Mal in verschiedenen Positionen dargeboten werden, kann eine positive Wertung erst ab sieben Richtigwahlen angesetzt werden. Um bei diesen verschiedenen, versuchsbedingten Anordnungen der Farb- und Grauwerte zu Aussagen über die Signifikanz der Farbwahrnehmung zu gelangen, waren mindestens 120 Versuche als Stichprobenumfang notwendig. Die Signifikanz wurde mit dem Chi-Quadrat-Test überprüft.

Ebenso war es wichtig festzustellen, ob ein spezieller Grauton mit der Farbe gehäuft verwechselt wurde, da man dann daraus folgern könnte, daß sich die Tiere nur nach Helligkeitsunterschieden richten und diese Helligkeit des speziellen Grautones nicht von der Helligkeit des Farbtones unterscheiden können, auch in diesem Fall wäre eine Farbblindheit erwiesen.

Als weiteres Kriterium einer Fehlermöglichkeit bei der Auswertung muß eine mögliche Seitenstetigkeit berücksichtigt werden, d.h. ob die Tiere einen bestimmten Kasten vorziehen und gar nicht auf die Farb- bzw. Graumarkierung achten. Bei vorliegender Seitenstetigkeit könnte man keine Aussagen über ein Farbsehvermögen treffen.

Nach diesen Gesichtspunkten wurden für alle Farben die gleichen Ergebnistabellen aufgestellt. In der ersten Tabelle jeder Farbe wird die Fehleranzahl der einzelnen Bullen dargestellt, aufgeteilt auf die sechs dazugehörigen Grautöne.

In den anschließenden Tabellen wurde wiederum für jede Farbe eine eventuelle Seitenstetigkeit der Bullen überprüft, und zwar wird im Teil 1 ermittelt, ob die Tiere bei einem bestimmten Kasten eine erhöhte Fehlerzahl zeigen, bzw. im

im Teil 2, ob ein bestimmter Kasten bei Falschwahl bevorzugt wurde.

Anschließend wird mit Hilfe einer graphischen Darstellung der Versuchsverlauf selbst aufgezeichnet, wobei jede Richtwahl eines Versuchsdurchganges (= zehn Einzelversuche) als Ordinate aufgetragen wurde; die Abszisse zeigt die einzelnen Versuchsdurchgänge. So kann man die Leistungen der einzelnen Bullen am anschaulichsten darstellen und miteinander vergleichen.

Bei den letzten 40 Versuchen, die mit einer senkrechten, gestrichelten bzw. punktierten Linie von dem vorhergehenden Ablauf abgetrennt sind, wurden für jeweils 20 Versuche der gleiche Farbton, jedoch mit einer anderen Helligkeit gewählt. Der Helligkeitsunterschied betrug etwa $\pm 0,2 - 0,5$ Prozentpunkte absolut.

Die Reihenfolge der Farben war Rot, Gelb, Mittelblau, Grün und als Zusatzfarbe, zur nochmaligen Überprüfung von Mittelblau, wurde Hellblau herangezogen. Nach der Dressurfarbe Hellgrün mit der Versuchsfarbe Grün zu beginnen, schien beim späteren Vergleich der Farben untereinander nicht objektiv genug, da in diesem Fall kein eigentlicher Farbwechsel stattgefunden hätte. Ebenso ungünstig war es, Gelb zu nehmen, da nach Angaben von HOFFMAN (1952) beim Zebu nicht sicher war, ob das Rind Grün von Gelb unterscheiden kann. Bei Mittelblau dagegen waren nach Angaben verschiedener Autoren (z.B. BACKHAUS 1959 a,b, RIESE 1975) bei den Versuchen Schwierigkeiten zu erwarten, die sich später dann auch bei den Rindern bestätigten. Somit wurde als erste Versuchsfarbe das Rot gewählt.

Als nächste Farbe wurde Gelb verwendet, da wiederum nach Angaben anderer Autoren (z.B. HOFFMANN 1952, RIESE 1975) bei Gelb am wenigsten Fehler gemacht wurden. Um diese Angaben

nachzuprüfen, mußte Gelb am Anfang genommen werden, gegen Ende der Versuche könnte man sonst annehmen, daß die Tiere durch kontinuierliche Übung diese besonders guten Ergebnisse erreicht haben.

Da Grün nach einem möglichst großen Zeitabstand von der Dressurfarbe getestet werden sollte, wurde als dritte Farbe Mittelblau eingesetzt.

4.2. Farbspezifisches Wahrnehmungsvermögen der Testbullen und Hypothesenprüfung in den einzelnen Versuchsserien

4.2.1. Rot mit Grau

Der Versuch mit dieser Farbe begann am 3.8.1976 und endete am 31.8.1976.

Bei den Gesamtergebnissen der einzelnen Bullen zeigt sich, daß eine sehr unterschiedliche Fehleranzahl vorliegt. Bulle B hatte bei weitem die geringste, Bulle D die größte Fehleranzahl. Das ist einmal auf die bessere Lernfähigkeit, zum anderen auf die größere Ablenkbarkeit der einzelnen Tiere zurückzuführen. Aber auch die Ergebnisse von Bulle D zeigen signifikant, daß er Rot von Grau unterscheiden kann (Tab. 1).

Die Aufteilung der Fehler der Bullen auf die sechs Grautöne ergab keine signifikante Erhöhung der Fehlerzahl bei einem bestimmten Grauton (Tab. 1), (genaue Werte der Graustufen siehe Anhang).

Bei der Ermittlung, ob bei einem Futterkasten vermehrt Fehler gemacht wurden, konnte man bei Bulle C eine Ablehnung des linken Kastens nachweisen (Tab. 2, Teil 1), während Bulle E eine Bevorzugung des linken Kastens zeigte (Tab. 2, Teil 2). Sonst war bei keinem Bullen eine Ablehnung oder Bevorzugung zu erkennen. Bei den Bullen A und B waren die

Fehlerwerte zu gering, um eine Signifikanz nachweisen zu können.

Der unterschiedlich lange Lernprozeß, der schon in der verschiedenen Fehleranzahl zum Ausdruck kam, wurde durch die Aufzeichnung der täglichen Versuchsdurchgänge noch deutlicher (Abb. 2). Diese Lernphase, während der jedoch keine Dressur notwendig war, kam bei Rot vermutlich besonders stark zum Ausdruck, da es die erste Umstellung auf eine neue Situation für die Tiere bedeutete. Deshalb wurden bei dieser Farbe mehr Versuchsdurchgänge absolviert als bei den Farben Gelb und Grün. Bei früherem Farbwechsel wären die schlechten Bullen vielleicht überfordert und bei den weiteren Versuchen versuchsunwillig geworden. Die von der Lernfähigkeit abhängige differenzierte Fehlerzahl hätte auch eine falsche Aussage über das Rotsehvermögen dieser Bullen erbracht, da eine Signifikanz dazu nach 160 Versuchen noch nicht gegeben gewesen wäre.

Bulle F zeigt ohne anfängliche Umstellungsschwierigkeiten einen deutlichen Leistungsabfall beim 100. Versuch. An diesem Tag waren zum ersten Mal Zuschauer bei den Versuchen dabei. Den Personen selbst schenkte er nur wenig Aufmerksamkeit, aber die Versuche wurden schneller als sonst durchgeführt, was ihn dann vermutlich so unwillig machte, daß er sogar in den nächsten Versuchsdurchgängen vermehrt Fehler machte.

ROT --- GRAU

Tab. 1: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf Graustufen I - VI.¹

Anzahl der Versuche: 300 pro Bulle

GRAUSTUFEN								
B U L L E N		I	II	III	IV	V	VI	Summe
	A	5	7	5	7	11	4	39
	B	1	1	3	2	2	1	10
	C	11	16	9	8	18	14	76
	D	14	18	12	18	17	9	88
	E	13	11	14	12	15	11	76
	F	8	8	13	10	9	11	59
	Summe	52	61	56	57	72	50	348

Quelle : Eigene Versuche

¹: Graustufen im Helligkeitsbereich von Rot

ROT --- GRAU

Tab. 2: Teil 1: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen,
verteilt auf die drei Futterkästen.

Teil 2: Bevorzugung eines bestimmten Futterkastens
bei Falschwahl der einzelnen Bullen.

Teil 1

Teil 2

FUTTERKÄSTEN: (links, Mitte, rechts)

B U L L E N		L	M	R			L	M	R		
	A	13	17	9			19	8	12		
	B	2	1	7			3	6	1		
	C	38	20	18	$p < 0,01$		25	33	18	n.s.	
	D	25	32	31	n.s.		33	28	27	n.s.	
	E	18	28	30	n.s.		35	27	16	$p < 0,05$	
	F	13	26	20	n.s.		27	14	18	n.s.	
	Summe	109	124	115			142	116	92		

Quelle: Eigene Versuche

p = Irrtumswahrscheinlichkeit

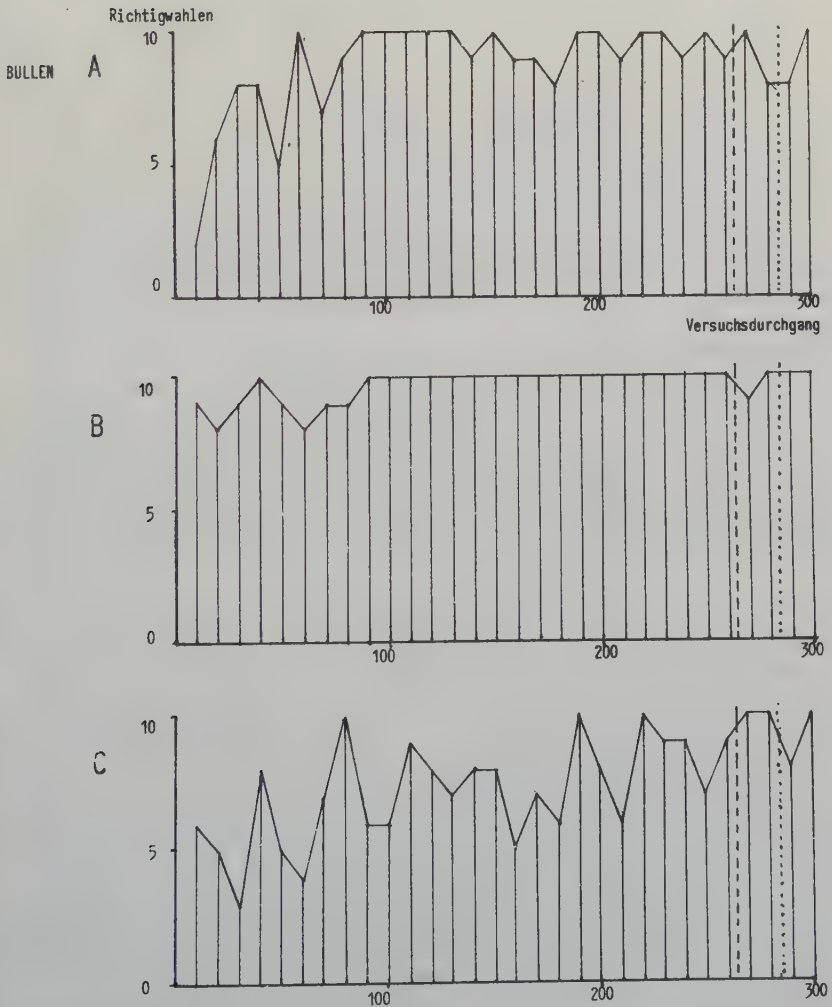
n.s. = nicht signifikant

ROT --- GRAU

Abb. 2: Versuchsablauf pro Versuchsdurchgang (= 10 Einzelversuche) von jedem Bullen. Aufgezeigt sind die Richtigwahlen bei jedem Versuchsdurchgang.

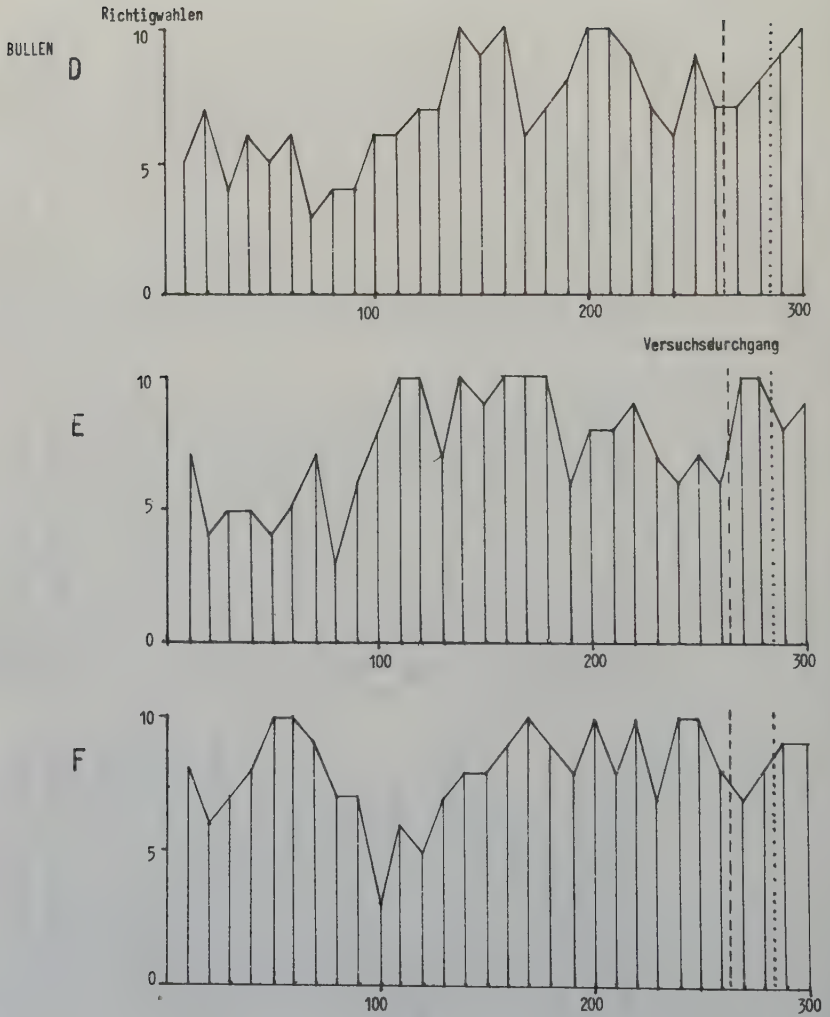
--- : Wechsel auf Farbton 2

.....: Wechsel auf Farbton 3



ROT --- GRAU

Abb. 2: Fortsetzung



4.2.2. Gelb mit Grau

Die Versuche auf Gelb begannen am 6.9.1976 und endeten am 21.9.1976.

Insgesamt wurde bei allen Bullen ein sehr gutes Ergebnis erreicht. Diesmal zeigte Bulle A die beste Leistung, Bulle D war wiederum der schlechteste. Die Fehlerzahl bei den Grautönen zeigte keine signifikante Verwechslung bei einer bestimmten Graustufe (Tab. 3).

Die Fehlerwerte der Bullen waren zu gering, um eine Signifikanz für eine Seitenstetigkeit nachweisen zu können (Tab. 4). Dennoch kann man bei Bullen D auf eine Ablehnung des linken Kastens schließen, da fast alle Fehler dann auftraten, wenn dieser Kasten mit der gelben Karte markiert war. Diese Seitenstetigkeit beeinträchtigte aber nicht die Aussage über das Farbsehvermögen für Gelb.

Bei der Umstellung auf Gelb zeigte nur Bulle D einen deutlichen Leistungsrückgang. Er war sehr erschrocken über die neue Situation und nur durch gutes Zureden zu einer Wahl zu bewegen. Auch bei den nächsten Versuchen ging er sehr zögernd, es war aber dennoch keine Dressur nötig. Alle anderen Bullen zeigten keine besondere Umstellungsreaktion (Abb. 3).

Es ist möglich, daß Bulle D als einziger gelernt hatte "Rot ist gut" und die Umstellung von Rot auf Gelb ihm dann schwerfiel, während die anderen "Grau ist schlecht" lernten, wobei dann das Rot leicht durch Gelb ersetzt werden konnte.

GELB --- GRAU

Tab. 3: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf die Graustufen I - VI¹

Anzahl der Versuche: 160 pro Tier

GRAU STUFEN							
	I	II	III	IV	V	VI	Summe
A	1	0	1	1	2	0	5
B	2	0	4	1	2	2	11
C	2	3	2	1	3	0	11
D	4	4	5	5	4	7	29
E	3	0	1	2	2	1	9
F	2	2	1	0	1	2	8
Summe	14	9	14	10	14	12	73

Quelle : Eigene Versuche

¹: Graustufen im Helligkeitsbereich von Gelb

GELB --- GRAU

Tab. 4: Teil 1: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf die drei Futterkästen.

Teil 2: Bevorzugung eines bestimmten Futterkastens bei Falschwahl der einzelnen Bullen.

Teil 1

Teil 2

FUTTERKÄSTEN: (links, Mitte, rechts)

B
U
L
L
E
N

	L	M	R
A	2	0	3
B	8	1	2
C	4	2	5
D	22	4	3
E	4	3	2
F	4	2	2
Summe	44	12	17

L	M	R
2	2	1
2	3	6
3	3	5
1	13	15
3	2	4
1	4	3
12	27	34

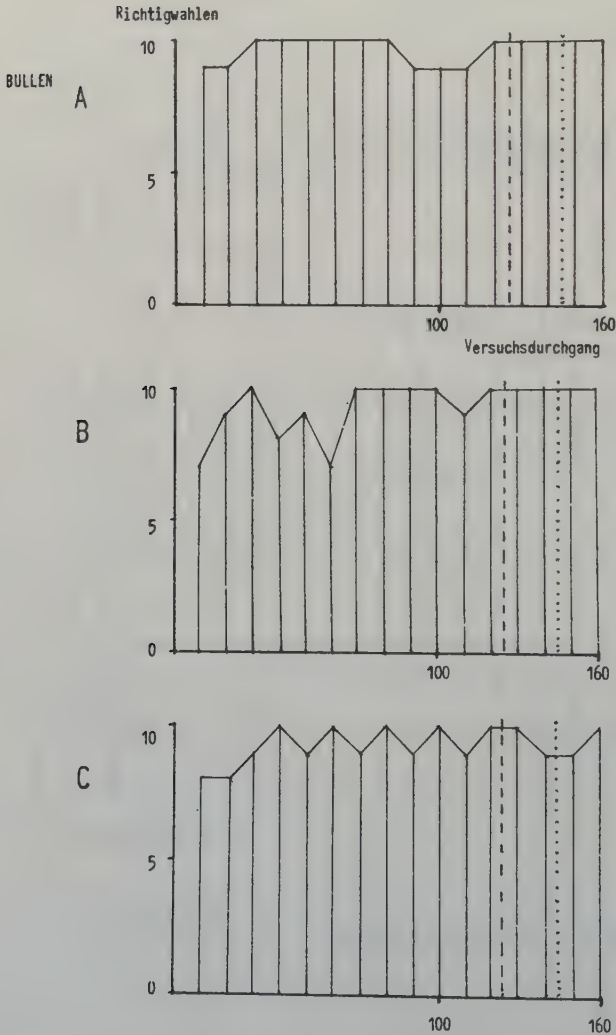
Quelle : Eigene Versuche

GELB --- GRAU

Abb. 3: Versuchsablauf pro Versuchsdurchgang (= 10 Einzelversuche) von jedem Bullen. Aufgezeigt sind die Richtigwahlen bei jedem Versuchsdurchgang.

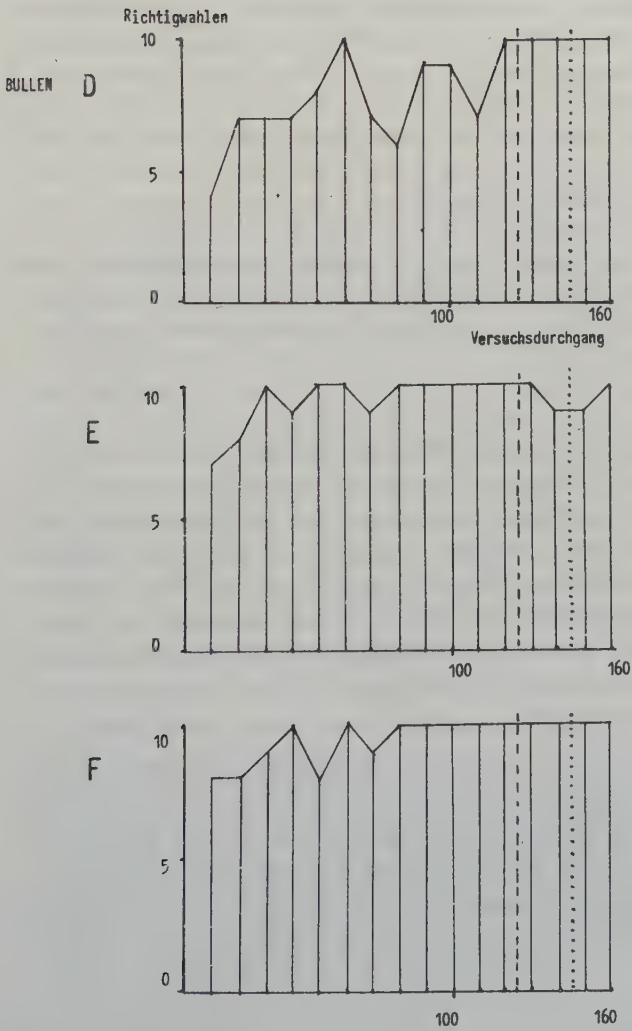
--- : Wechsel auf Farbton 2

....: Wechsel auf Farbton 3



GELB --- GRAU

Abb. 3: Fortsetzung



4.2.3. Mittelblau mit Grau

Gleich nach Beendigung der Versuche mit Gelb erfolgte am 22.9.1976 die Umstellung auf Mittelblau, die Versuche endeten am 15.10.1976.

Bei Mittelblau zeigte sich allgemein eine sehr hohe Fehlerzahl. Nur Bulle B und F zeigten durch ihre Ergebnisse, daß sie Mittelblau sicher von Grau unterscheiden konnten. Alle anderen hatten so viele Fehler, daß man diese Hypothese nicht signifikant nachweisen kann. Der Unterschied, der zwischen der Fehleranzahl bei Grau I und Grau VI bestand, zeigt keine Signifikanz für eine erhöhte Verwechslung mit einer Graustufe (Tab. 5).

Die Bullen A, C und F zeigen eine deutliche Ablehnung eines Futterkastens, wobei A den rechten, C den linken und F den mittleren Kasten ablehnte. Wodurch diese unterschiedliche Ablehnung zustande kam, konnte nicht festgestellt werden (Tab. 6, Teil 1).

Bei der Neigung einen Futterkasten zu bevorzugen, zeigten, außer Bulle E, alle eine Seitenstetigkeit. Die Bullen A, B und D für den rechten, Bulle C für den mittleren und F für den linken Kasten. Eine Seitenstetigkeit kann das Ergebnis des Farbsehvermögens verschleiern, da in dem Fall die Priorität bei der Auswahl der Futterkästen und nicht bei der Farbmarkierung liegt. Trotz dieser Seitenstetigkeit erreichten die Bullen B und F Ergebnisse, die ein Farbsehvermögen für Blau bestätigen.

Auffällig bei den täglichen Ergebnissen der Versuchsdurchgänge sind besonders die Versuchsfolgen von Bullen A und B, die bisher die besten Bullen waren. Sie wählten am Anfang bei keinem Mal den blaumarkierten Kasten. Das kann nicht mehr als Zufall angesehen werden, sondern es muß als Mei-

dung der blauen Farbe aufgefaßt werden. Die anderen Bullen zeigten unterschiedlich spät diese gleiche, auffällige Reaktion (Abb. 4). Ab dem zweiten Versuchsdurchgang wurden zwischendurch Dressurversuche eingefügt, da es notwendig war, die Tiere ab und zu zu belohnen, weil sie sonst völlig versuchsunwillig geworden wären. Diese Zwischenversuche wurden nicht gewertet. Die ersten Versuchsdurchgänge wurden aber in einfacher Pendelweise durchgeführt, um das Umstecken der Karten schneller durchführen zu können und damit die Wartezeit für die Bullen zu verkürzen.

Bulle C zeigte aber gleich nach dem dritten Pendelversuchsdurchgang, daß man Versuchsabläufe nicht zu leicht machen soll. Er hatte, entgegen sonstiger unterdurchschnittlicher Lernfähigkeit, als erster sieben Richtigwahlen. Als beim nächsten Versuchsdurchgang ein beliebiger Farbwechsel erfolgte, sank die Rate der Richtigwahlen sofort auf drei von zehn.

Ab dem 100. Versuch wurden keine Dressurversuche mehr zwischengeschaltet. Während dieser Zeit wählten die Tiere etwa nur zu 30 % richtig, d.h. sie wählten zufällig. Man müßte hier annehmen, daß sie Mittelblau nicht von Grau unterscheiden können. Als erster erreichte Bulle F positive Ergebnisse, d.h. er erlangte mindestens sieben richtige Wahlen pro Versuchsdurchgang. Bald danach erzielte auch Bulle B eine gute Leistung. Bullen A und C zeigten erst bei den letzten Versuchen, daß sie Mittelblau von Grau unterscheiden können, was aber insgesamt zu keinem positiven Ergebnis mehr führen konnte. Bullen D und E hatten nur Zufallswahlen. Wenn man bei diesen vier Tieren die Summe der Richtigwahlen aufteilt in jeweils 100 Versuchseinheiten, so erhält man folgende Anzahl von Richtigwahlen 89, 135, 215. Damit zeigt sich eine steigende Tendenz von Richtigwahlen, woraus man schließen kann, daß bei längerer Versuchsdauer auch diese vier Tiere bessere Ergebnisse erlangt hätten.

MITTELBLAU --- GRAU

Tab. 5: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf die Graustufen I - VI¹

Anzahl der Versuche: 300 pro Tier

GRAUSTUFEN								
B U L L E N		I	II	III	IV	V	VI	Summe
	A	22	26	29	33	34	29	174
	B	19	20	23	17	18	21	118
	C	26	37	29	32	31	25	180
	D	28	28	36	32	37	33	197
	E	33	34	35	41	35	33	211
	F	16	13	17	10	16	10	82
	Summe	146	158	170	166	171	151	962

Quelle : Eigene Versuche

¹: Graustufen im Helligkeitsbereich von Mittelblau

MITTELBLAU --- GRAU

Tab. 6: Teil 1: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf die drei Futterkästen.

Teil 2: Bevorzugung eines Futterkastens bei Falschwahl der einzelnen Bullen.

Teil 1

Teil 2

FUTTERKÄSTEN: (links, Mitte, rechts)

BULLEN		L	M	R			L	M	R	
	A	61	76	37	$p < 0,01$		36	28	110	$p < 0,01$
	B	41	42	35	$n.s.$		29	26	63	$p < 0,01$
	C	79	46	55	$p < 0,01$		27	85	68	$p < 0,01$
	D	60	78	59	$n.s.$		38	64	95	$p < 0,01$
	E	63	73	75	$n.s.$		84	66	61	$n.s.$
	F	11	45	26	$p < 0,01$		41	14	27	$p < 0,01$
	Summe	315	360	287			255	283	424	

Quelle : Eigene Versuche

p = Irrtumswahrscheinlichkeit

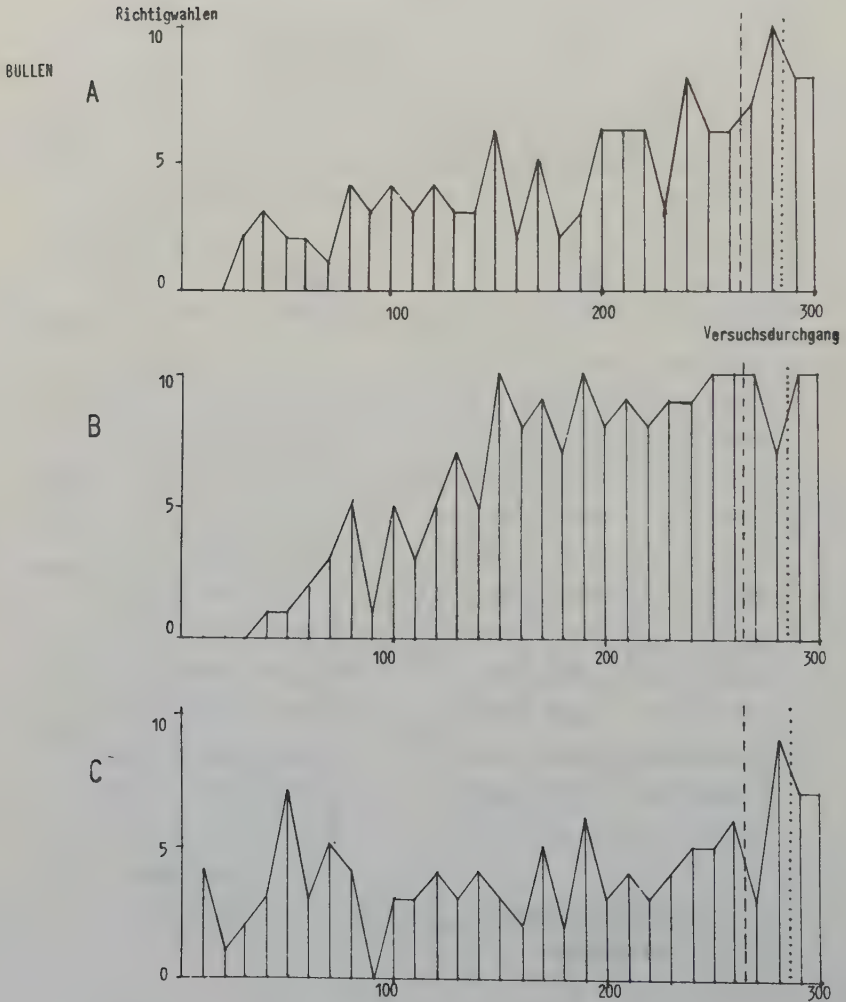
n.s. = nicht signifikant

MITTELBLAU --- GRAU

Abb. 4: Versuchsablauf pro Versuchsdurchgang (= 10 Einzelversuche) von jedem Bullen. Aufgezeigt sind die Richtigwahlen bei jedem Versuchsdurchgang.

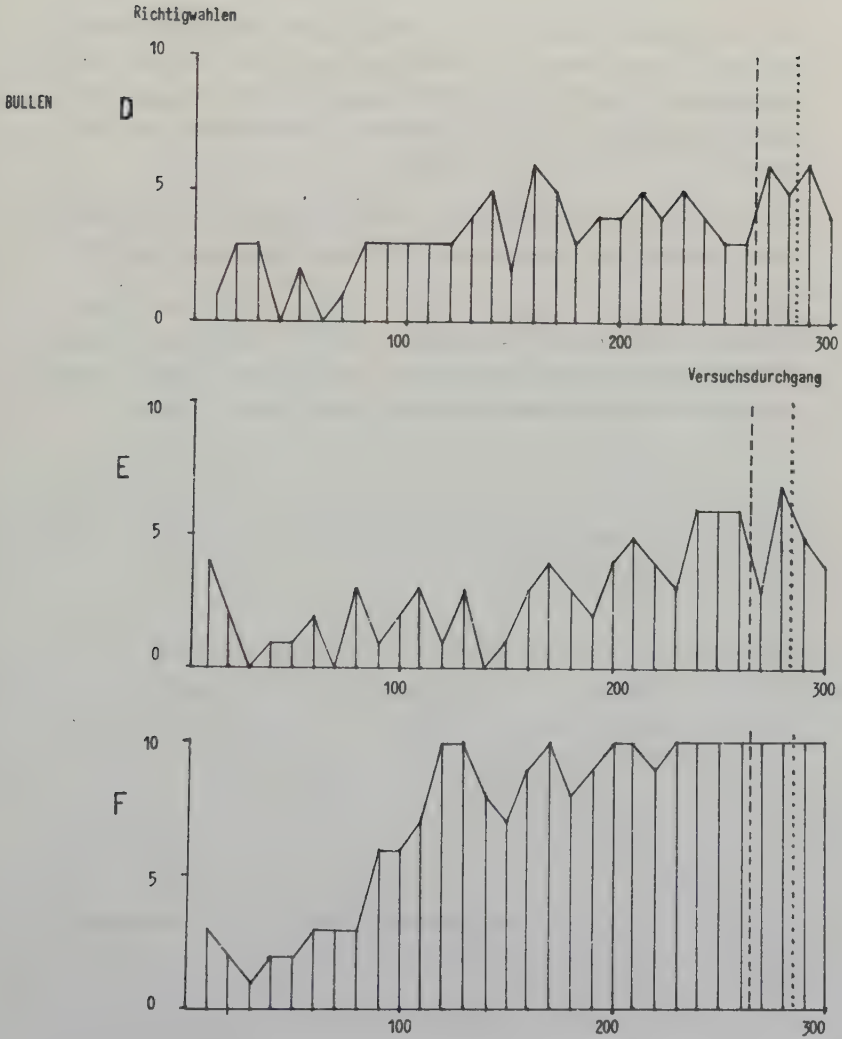
--- : Wechsel auf Farbton 2

.....: Wechsel auf Farbton 3



MITTELBLAU --- GRAU

Abb. 4: Fortsetzung



4.2.4. Grün mit Grau

Nach dem Abschluß der Versuche mit Mittelblau mußte aus technischen Gründen eine Pause von 14 Tagen eingelegt werden. Die Versuche begannen also am 2.11.1976 und endeten am 16.11.1976.

Die Eingewöhnung nach dieser Pause ergab keine Schwierigkeiten. In der Fehlerzahl zeigte sich Bulle B wieder als der Beste, Bulle D als Schlechtester. Bei den einzelnen Graustufen wurde eine gleichmäßige Fehleranzahl erreicht (Tab. 7).

Es konnte bei keinem Bullen eine Ablehnung oder eine Bevorzugung eines Futterkastens ermittelt werden (Tab. 8).

Der Versuchsablauf zeigt, daß es außer bei Bullen C und D keine Umstellungsschwierigkeit auf die neue Farbe gab. Ob eine Beeinflussung durch die Dressurfarbe Grün gegeben war, kann nicht ausgesagt werden (Abb. 5).

GRÜN --- GRAU

Tabelle 7: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf die Graustufen I - VI¹

Anzahl der Versuche: 160 pro Tier

B U L L E N	GRAUSTUFEN							
		I	II	III	IV	V	VI	Summe
	A	4	5	3	2	5	3	22
	B	1	2	2	1	1	5	12
	C	5	6	4	3	7	5	30
	D	6	8	7	8	10	7	46
	E	3	5	4	6	4	2	24
	F	3	1	2	2	3	3	14
	Summe	22	27	22	22	30	25	148

Quelle : Eigene Versuche

1: Graustufen im Helligkeitsbereich von Grün

GRÜN --- GRAU

Tab. 8: Teil 1: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf die drei Futterkästen.

Teil 2: Bevorzugung eines bestimmten Futterkastens bei Falschwahl der einzelnen Bullen.

Teil 1

Teil 2

FUTTERKÄSTEN: (links, Mitte, rechts)

B U L L E N		L	M	R
	A	4	7	11
	B	2	5	5
	C	10	8	12
	D	21	12	13
	E	6	12	6
	F	8	2	4
	Summe	51	46	51

L	M	R
8	8	6
3	4	5
6	16	8
14	14	18
8	10	6
2	8	4
41	60	47

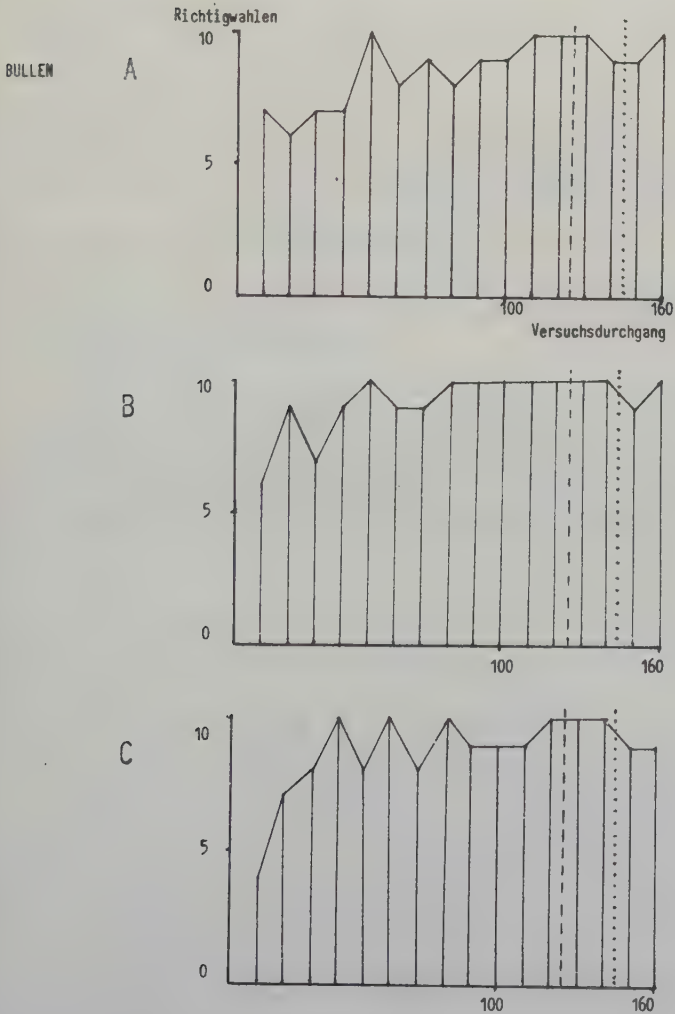
Quelle : Eigene Versuche

GRÜN --- GRAU

Abb. 5: Versuchsablauf pro Versuchsdurchgang (= 10 Einzelversuche) von jedem Bullen. Aufgezeigt sind die Richtigwahlen bei jedem Versuchsdurchgang.

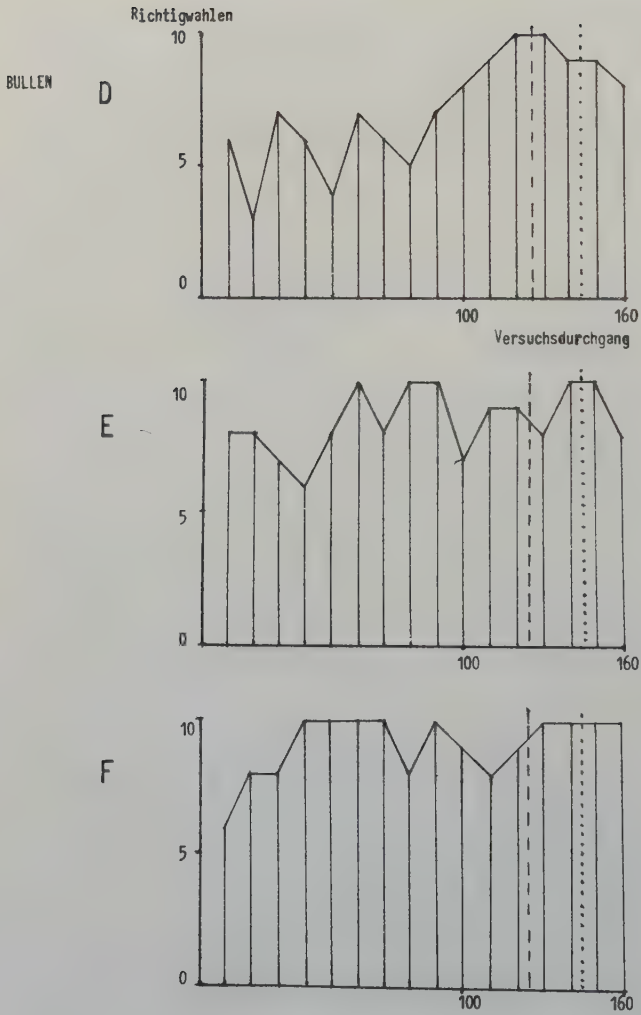
--- : Wechsel auf Farbton 2

....: Wechsel auf Farbton 3



GRÜN --- GRAU

Abb. 5: Fortsetzung



4.2.5. Hellblau mit Grau

Nach Abschluß der Versuche mit Grün wurde am 22.11.1976 mit der Zusatzversuchsfarbe Hellblau begonnen, die Versuche endeten am 1.12.1976.

Bullen B und F, die die Farbe Mittelblau am Ende gut erkannten, hatten auch bei Hellblau sehr gute Ergebnisse. Alle anderen Bullen zeigten eine hohe Fehlerzahl (Tab. 9). Es scheint aber durchaus möglich, daß bei Fortsetzung der Versuche bessere Gesamtergebnisse erreicht worden wären, da eine steigende Tendenz der Richtigwahlen bestand.

Trotz erhöhter Fehlerzahl konnte keine Seitenstetigkeit bei einem Bullen festgestellt werden, so daß dieser Einfluß auf eine Erhöhung der Fehlerzahl ausgeschlossen werden konnte (Tab. 10).

Bullen B und F hatten ohne jegliche Reaktion auf die Umstellung bei der neuen Farbe gleich zehn Richtigwahlen. Alle anderen waren besonders am Anfang noch sehr unsicher (Abb. 6). Bei dieser Farbe wurden keine anderen Farbhelligkeitsstufen verwendet.

HELLBLAU --- GRAU

Tab. 9: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf Graustufen I. - VI¹

Anzahl der Versuche: 120 pro Tier

GRAU STUFEN								
B U L L E N		I	II	III	IV	V	VI	Summe
	A	4	3	2	4	5	6	24
	B	1	2	2	1	1	2	9
	C	5	7	10	7	5	2	36
	D	8	7	10	8	8	8	49
	E	3	6	5	5	8	4	31
	F	0	1	1	0	1	1	4
	Summe	21	26	30	25	28	23	153

Quelle : Eigene Versuche

1: Graustufen im Helligkeitsbereich von Hellblau

HELLBLAU --- GRAU

Tab. 10: Teil 1: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen, verteilt auf die drei Futterkästen.

Teil 2: Bevorzugung eines bestimmten Futterkastens bei Falschwahl der einzelnen Bullen.

Teil 1

Teil 2

FUTTERKÄSTEN: (links, Mitte, rechts)

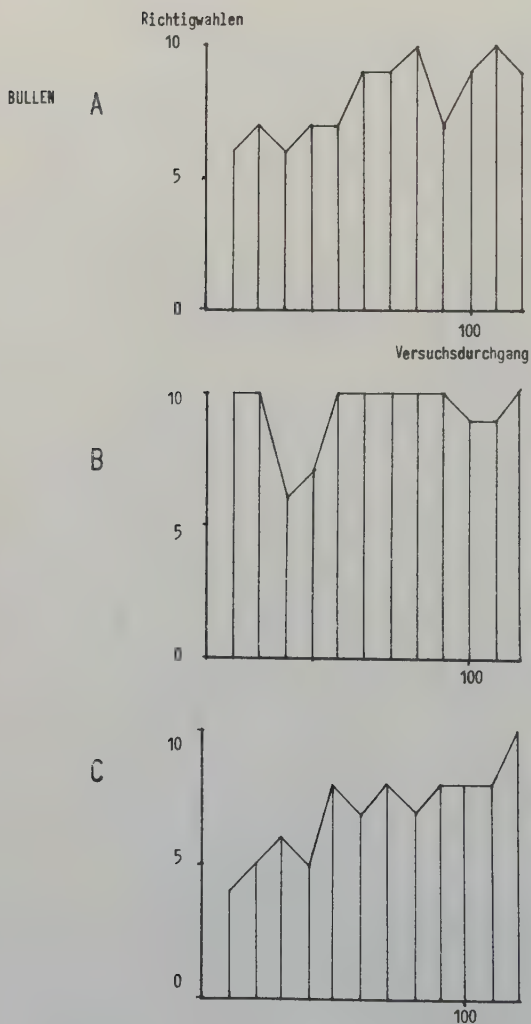
B U L L E N		L	M	R
	A	14	6	4
	B	3	4	2
	C	10	12	14
	D	15	12	22
	E	7	11	13
	F	0	2	2
	Summe	49	47	57

L	M	R
6	7	11
5	2	2
11	19	6
21	18	10
13	14	4
2	1	1
58	61	34

Quelle : Eigene Versuche

HELLBLAU --- GRAU

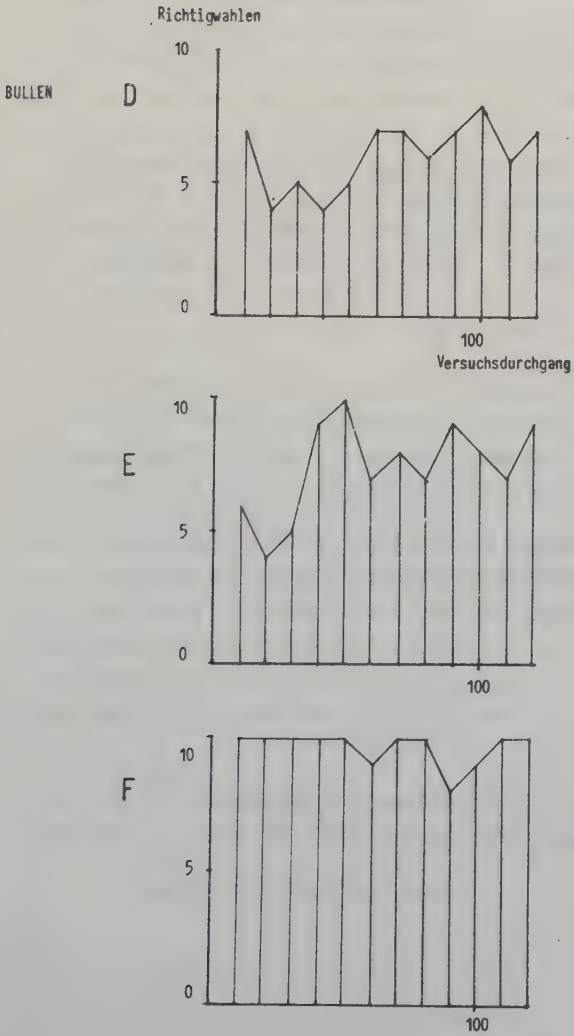
Abb. 6: Versuchsablauf pro Versuchsdurchgang (= 10 Einzelversuche) von jedem Bullen. Aufgezeigt sind die Richtigwahlen bei jedem Versuchsdurchgang.



Quelle : Eigene Versuche

HELLBLAU --- GRAU

Abb. 6: Fortsetzung



Quelle : Eigene Versuche

4.2.6. Alle fünf Testfarben untereinander

Im Anschluß an Hellblau wurden an den darauffolgenden beiden letzten Versuchstagen im Dezember vier Versuchsdurchgänge mit allen Farben ohne Grautöne durchgeführt. Es waren alle Kästen unverriegelt, die Bullen sollten also ohne Dressur auf eine bestimmte Farbe wählen. Jede Farbe kam pro Versuchsdurchgang fünf Mal in verschiedenen Kombinationen und Positionen vor. Die Tiere zeigten keinen Unterschied in ihrem Wahlverhalten, sie gingen ziel-sicher auf einen Farbton zu und probierten die anderen nicht zusätzlich aus. Die nächsten vier Versuchsdurchgänge wurden nach zwei Monaten innerhalb einer Woche durchgeführt. Am ersten Tag konnte keine Wertung stattfinden, da die Tiere zu aufgeregt waren; die weiteren Versuche verliefen nach dem gleichen Versuchsschema wie die 40 Versuche im Dezember.

In den ersten 40 Versuchen sieht man eine signifikante Bevorzugung von Gelb bzw. Ablehnung von Mittelblau. Nur Bulle F, der die besten Ergebnisse bei Mittelblau gegen Grau hatte, wählte Mittelblau auffallend häufig (Tab. 11).

Bei den 40 im Februar durchgeführten Versuchen zeigt sich eine annähernde Ausgeglichenheit der Wahlen zwischen Gelb und Mittelblau, die Werte der anderen Farben blieben in etwa gleich. Bei dem Bullen D mußten zwei Versuchsdurchgänge, weil er zu unruhig wurde, vorzeitig abgebrochen werden, so daß fünf Versuche weniger zur Wertung kamen (Tab. 12).

Eine Stetigkeit trat bei diesem Versuchsablauf nicht ein, somit kann man auf eine bewußte Wahl der Bullen schließen (Tab. 13).

ALLE FARBEN

Tab. 11: Farbwahl der einzelnen Bullen.

Teil 1: 40 Versuche im Dezember 1976

Teil 2: 40 Versuche im Februar 1977

(Bei Bulle D fanden insgesamt nur
35 Versuche statt)

Teil 1

B U L L E N		gelb	grün	rot	hell- blau	mittel- blau
	A	11	12	6	10	1
	B	20	10	8	2	0
	C	15	9	13	2	1
	D	13	12	8	2	5
	E	9	13	8	7	3
	F	9	11	5	5	10
	Summe	77	67	48	28	20

Quelle: Eigene Versuche

Signifikant für Irrtumswahrscheinlichkeit
 $p < 0,05$

ALLE FARBEN

Tab. 12: Teil 2

B U L L E N		gelb	grün	rot	hell- blau	mittel- blau
	A	14	9	5	6	6
	B	17	12	3	3	5
	C	8	12	8	7	5
	D	12	10	5	3	5
	E	6	13	11	4	6
	F	7	8	10	5	10
	Summe	63	64	42	28	37

Quelle : Eigene Versuche

Signifikant für Irrtumswahrscheinlichkeit
 $p < 0,05$

ALLE FARBEN

Tab. 13: Wahlverhalten bezogen auf die drei Futterkästen.

Teil 1 (Dezember)
1976

Teil 2 (Februar)
1977

FUTTERKÄSTEN: (links, Mitte, rechts)

B U L L E N		L	M	R
	A	12	17	11
	B	16	14	10
	C	16	13	11
	D	13	15	12
	E	13	12	15
	F	13	16	11
	Summe	83	87	69

B U L L E N		L	M	R
	A	17	16	7
	B	15	13	12
	C	14	12	14
	D	10	11	14
	E	16	10	14
	F	16	9	15
	Summe	88	71	76

Quelle : Eigene Versuche

4.2.7. Ermittlung der Gesamtergebnisse

Das Gesamtergebnis zeigt die unterschiedliche Lernfähigkeit der einzelnen Bullen, wie sie schon in der verschiedenen Anzahl der Dressurversuche zum Ausdruck kam, wobei die Differenz der Fehlerzahl vom besten zum schlechtesten Bullen mehr als das Doppelte beträgt. Das zeigt, daß es nicht genügt, nur mit einem oder zwei Tieren zu arbeiten, um objektive Aussagen über eine Versuchsfolge zu treffen.

Setzt man die Gesamtfehleranzahl der einzelnen Farben in Bezug zu den jeweils durchgeführten Versuchen, so erhält man folgendes Ergebnis in Prozent:

- Rot	=	19,33 %
- Gelb	=	7,60 %
- Mittel- blau	=	53,44 %
- Grün	=	15,42 %
- Hellblau	=	21,25 %

Ein Vergleich zwischen Rot und Hellblau kann nicht gezogen werden, da bei den ersten 120 Versuchen mit Rot eine höhere Fehlerzahl als bei Hellblau auftrat, und somit Hellblau bei 300 Versuchen vielleicht ein besseres Gesamtergebnis als Rot erhalten hätte.

Gesamtergebnis

Tab. 14: Gesamtfehlerzahl der einzelnen Bullen
(alle Versuche -Farbe gegen Grau- zusammengekommen)

B U L L E N		rot	gelb	mittel- blau	grün	hell- blau	Summe
	A	39	5	174	22	24	264
	B	10	11	118	12	9	160
	C	76	11	180	30	36	333
	D	88	29	197	46	49	409
	E	76	9	211	24	31	351
	F	59	8	82	14	4	167
	Summe	348	76	962	148	153	1684

Quelle : Eigene Versuche

5. Diskussion der Untersuchungsergebnisse und anwendungsbezogene Aspekte

5.1. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse zum Farbsehen von Rindern

Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß die Tiere Rot, Gelb, Grün und Hellblau gut von Grau unterscheiden können. Bei der Farbe Mittelblau gab es dagegen Besonderheiten; es erreichten nur zwei Bullen ein signifikant positives Ergebnis für die Wahl des blaumarkierten Kastens, die anderen vier Bullen zeigten zwar eine steigende Tendenz zur Richtigwahl, das Gesamtergebnis läßt aber keine Aussage über ihr Farbsehvermögen bei Mittelblau zu. Eine andere Besonderheit bestand darin, daß die Bullen A und B in den ersten Versuchsdurchgängen bei keinem Mal den blaumarkierten Kasten wählten, die anderen Bullen zeigten dieses Verhalten im Laufe der nächsten Versuchsdurchgänge. Das könnte auf ein Unterscheidungsvermögen der Tiere zwischen Grau und Blau hinweisen, da offensichtlich bewußt der blaumarkierte Kasten nicht gewählt wurde. Fast die gleiche Beobachtung machte RIESE (1975) bei ihren Versuchen an Schafen, sowie BACKHAUS (1959 a) bei gleichen Untersuchungen an einer Hirschkuh, einer Zwergziege und einer Massai-Giraffe (1959 b), ebenso RENSCH und ALTEVOGT (1953) an einem Elefanten. Für diese Reaktionen sind folgende Ursachen denkbar: Es wäre möglich, daß die Tiere teilweise farbenblind sind. In diesem Fall müßte eine Rot-Grün-Blindheit vorliegen, d.h. die Tiere würden die Farben Rot, Gelb und Grün als eine Farbe sehen und Blau als eine andere Farbe. Dann wäre die einzige Umstellung während der Versuche für die Tiere bei Blau gegeben gewesen. Mit den Tieren konnten keine speziellen Versuche auf Farbunterscheidung gemacht werden, da sie nach einer witterungsbedingten Pause so aggressiv geworden waren, daß man keine weitere Dressurperiode mehr anschließen

konnte. Deshalb kann nur die unterschiedliche Fehleranzahl bei den einzelnen Farben und die anfangs allgemein etwas vermehrten Fehler als Beweis für eine Umstellung angegeben werden. Außerdem zeigten die Versuche mit den Farben untereinander einen deutlichen Unterschied der Rot- und Gelbwahl. HOFFMANN (1952) erhielt bei Farbumterscheidungsversuchen mit dem Zebu bei Rot gegen Gelb und Grün ein positives Ergebnis. Somit dürfte eine Farbfehlsichtigkeit als Ursache sehr unwahrscheinlich sein.

Eine andere Möglichkeit wäre, daß die Farbe Blau bei den Tieren eine Angstepfindung auslöst. Das konnte bei den Rindern nicht festgestellt werden. Die Tiere gingen zwar teilweise nur zögernd zu den Versuchskästen hin und öffneten den farbmarkierten Kasten meist erst, nachdem die anderen erfolglos probiert waren, sie weigerten sich aber nicht grundsätzlich den blau markierten Kasten zu öffnen. Es lag eher eine Meidung vor, deren Ursachen vielleicht durch folgende Überlegungen erklärbar sind:

- a) Es wäre denkbar, daß die Tiere das Blau gar nicht in den Begriff 'Farbe' eingliedern, sondern diesen Farbwert als eine ganz andere optische Einheit wahrnehmen, wie auch RIESE erwähnte. Möglicherweise erscheint ihnen das Blau als eine ebenso unbunte Farbe wie Grau. Sie können dann diese 'Farbe' zwar von Grau unterscheiden, empfinden sie aber - da sie sie nicht kannten - negativer als Grau selbst. Da ihnen 'unbunt' als 'falsch' adressiert wurde, weigerten sie sich folglich, den entsprechenden Kasten zu öffnen. Ebenso spricht für diese Hypothese, daß erneut eine Dressur stattfinden mußte, um den Tieren beizubringen, daß Mittelblau die positive Markierung war. Zwei Tiere erlernten die Dressur und zeigten ein positives Ergebnis bei Mittelblau. Bei den vier anderen Tieren war vermutlich die Dressur zu kurz, um diese Umstellung von negativ auf positiv zu lernen. Eine längere

Dressur war wegen einer anschließenden zwangsläufigen Versuchspause nicht möglich. Gleichermassen zeigen die beiden besten Tiere bei Mittelblau auch gute Ergebnisse bei Hellblau, während die übrigen eine sehr hohe Fehleranzahl aufwiesen. Inwieweit die Helligkeitsunterschiede das Versuchsergebnis beeinflusst haben, kann nicht nachgeprüft werden, da Hellblau im Vergleich zu Mittelblau für die Tiere keine grundsätzlich neue Situation darstellte.

- b) Als weitere Erklärung wäre noch folgende These denkbar: Nimmt man an, die Rinder besitzen das gleiche Farbschema wie der Mensch, so würden sie ebenso eine Farbfolge von Blau nach Rot über Blaugrün, Grün, Gelbgrün, Gelb und Orange aufstellen. Nun könnte es sein, daß die Tiere zwischen der Farbempfindung Blau und Grün die Sinnesempfindung Grau haben. Im Sinne der obengenannten Farbfolge würde das vereinfacht so aussehen: Blau - GRAU - Grün - Gelb - Rot. Da nach der Dressurfarbe Grün die Farben Rot und Gelb zum Versuch kamen, wurden am Anfang alle auf der gleichen Seite zum Grau liegenden Farbtöne benutzt. Dadurch wurden die Tiere möglicherweise nicht auf die Begriffe 'bunt' und 'unbunt' dressiert, wie es beabsichtigt war. Vielmehr hätte die Dressur dann dazu geführt, daß alle Farben, die nach dem o.a. Schema rechts von Grau liegen (Grün, Gelb, Rot) als positiv empfunden wurden, da sie bei Wahl dieser Farben mit Futter belohnt wurden. Grau selbst wurde als negativ empfunden (kein Futter). Da Mittelblau erst nach den o.a. Farben als Versuchsfarbe eingesetzt wurde und dieses Blau nach dem Schema links von Grau lag, konnte es unter Umständen noch negativer als Grau eingestuft werden. Das Grau wurde, da es nun auf der rechten Seite lag, zur positiven Markierung und wurde von den Tieren vermehrt gewählt.

In Analogie zu diesen möglichen Wahrnehmungen bei Rindern wurde ein kleiner Test mit mehreren Personen durchgeführt. Etwa 30 Personen wurde die Aufgabe gestellt, innerhalb einer kontinuierlichen Reihenfolge einer Farbskala von Blau nach Rot ein imaginäres 'Grau' nach ihrer Empfindung einzufügen, dabei wurde keine Grauvorlage verwendet. Zwei Drittel dieser Personen fügten ihr Grau zwischen den Stufen Blau nach Grün ein, das restliche Drittel zwischen Grün und Gelb. Das Problem der Einfügung von Grau im Sinne einer Farbenfolge schien also weder unlösbar, noch wurde der Grauton beliebig zwischen irgendwelche Farben gesetzt.

Zur genaueren Begründung wären, wie auch zum vorherigen Erklärungsansatz, noch weitere Versuche notwendig.

Bei den Untersuchungen mit den Farben untereinander - ohne Graustufen - konnte man feststellen, daß Gelb mit Abstand die am meisten gewählte Farbe war, gefolgt von Grün. Durch die Annäherung der Versuchsergebnisse bei Gelb und Grün im zweiten Teil des Versuchsablaufs ist jedoch unbestimmt, ob Rinder Gelb von Grün unterscheiden können. Der Unterschied zu Rot und weiter zu Hellblau und Mittelblau ist jedoch sehr deutlich. Die Zunahme der Wahl von Mittelblau und die Abnahme von Gelb im zweiten Teil des Versuchsablaufs zeigt, daß ohne Dressur und Zwang sich eine gewisse Gleichgültigkeit den Farben gegenüber einstellen kann.

5.2. Verhaltensorientierte Weiterentwicklung der Untersuchungsmethodik

Auf der Grundlage der hier gewonnenen Ergebnisse bietet sich eine Fortentwicklung des verhaltensorientierten Ansatzes bei der Frage an, welche Farben untereinander Rinder unterscheiden können und bis in welchen Wellenlängenbereich Farben erkannt werden können. Günstig wäre hierzu die Anwendung von Spektralfarben, d.h. entsprechend gefilterten bzw. zerlegten Lichts. Damit könnten viel genauere Farbnuancen des sichtbaren Wellenlängenspektrums dargeboten werden. Dies würde aber einen erheblichen technischen Aufwand der Versuchseinrichtung nach sich ziehen.

Die Ausweitung der Untersuchungen auf weibliche Tiere als auch auf verschiedene Rassen ist für die Frage nach einer möglichen, genetisch bedingten Differenzierung des Farbsehvermögens (analog dem Menschen) von besonderem Interesse.

Um der Bedeutung der Farbsehreize im Bereich sinnesphysiologischer Wahrnehmungen zu erfassen, sind die Analysen geruchlicher und akustischer Wahrnehmungen bei Verhaltensbeobachtungen gleichzeitig zu berücksichtigen. Nur so lassen sich Aussagen zur "Wahrnehmungshierarchie" bei spontanen Verhaltensreaktionen treffen.

5.3. Anwendungsbezogene Bedeutung der Untersuchungsergebnisse in der praktischen Tierzucht

Die differenzierten Ergebnisse zum Farbsehvermögen von Rindern eröffnen auch interessante Aspekte einer möglichen Anwendung dieser Fähigkeit in der praktischen Tierzucht. Im Vordergrund stehen hier einmal farbliche Markierungen von Gegenständen oder Flächen, z.B.

- Futtertröge
- Liegeplätze
- Stallboxen
- Umzäunungen,

die durch die farbige Signalwirkung den Tieren ein leichteres Erkennen und Auffinden dieser Einrichtungen ermöglichen könnte. Der Erwartung einer spontanen Wahrnehmung und Registrierung einer Farbe durch Rinder ist jedoch mit großen Vorbehalten zu begegnen. Überträgt man die hier gewonnenen Erkenntnisse, dann sind in der Regel wenigstens ansatzweise Dressuren auf den 'Sachverhalt' Farbe vorzunehmen, um die beabsichtigten Reaktionen, die die Tiere mit der Farbe verbinden sollen, in ihren Verhaltensmustern zu 'programmieren'.

Reaktionen auf Farben werden beispielsweise im Bereich der Humanpsychologie in Form von farblicher Gestaltung der Arbeitsräume eingesetzt, analog hierzu muß eine mögliche Beeinflussung tierischer Stimmungslagen gerade für Zwecke intensiver Stallhaltung zur Diskussion gestellt werden.

Beispielsweise könnte eine farbliche Gestaltung eines Stalles dazu beitragen, rangordnungsbedingte Aggressionen abzubauen, die in der praktischen Tierhaltung einen erheblichen Störfaktor sowohl in den Leistungen der Tiere als auch im Betriebsablauf darstellen.

Zuletzt sei noch der Gedanke aufgegriffen, daß auch Einflüsse auf das Brunstverhalten in Erwägung gezogen werden müssen. Erste Erkenntnisse zur Bedeutung von Farben bei der Brunstpsychostimulation von Mäusen wurden von FRIELING (1968) erwähnt.

Es wäre von großem Vorteil, wenn auch diese Ergebnisse der Grundlagenforschung durch breit gestreute Anwendungsversuche in der praktischen Tierhaltung ergänzt und erweitert

werden könnten. Die hier aufgezeigten Ansätze sollen eine weitere Anregung schaffen, die Bedeutung des Mediums Farbe sowohl in der sinnesphysiologischen Verhaltensforschung als auch in der praktischen Tierhaltung landwirtschaftlicher Betriebe stärker in den Vordergrund zu rücken.

6. Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war die Untersuchung des Farbsehvermögens von Rindern. Der methodische Ansatz erfolgte im Rahmen der Verhaltensforschung mit Hilfe von Wahlversuchen. Für die Versuche standen sechs Jungbulln zur Verfügung. Zunächst fand eine Dressur mit der Farbe Grün statt. Hier, wie auch bei den sich anschließenden Wahlversuchen, waren von drei angebotenen Futterkästen zwei mit Grautönen, einer mit einer Farbe markiert. Diesen farbmarkierten Kasten mußten die Tiere herausfinden und öffnen. Beim Öffnen des richtigen Kastens wurden die Tiere durch Futter belohnt. Die Farb- und Graumarkierungen wurden vor jedem Versuch systematisch ausgetauscht. Getestet wurden die Farben Rot, Gelb, Mittelblau, Grün und Hellblau in Kombination zu jeweils sechs Grautönen, die im gleichen Helligkeitsbereich der Farben lagen.

Die Versuchsergebnisse zeigten signifikant, daß die Farben Rot, Gelb, Grün und Hellblau von Grau unterschieden werden konnten, für diese Farben somit ein Erkennungsvermögen bei Rindern vorliegen muß. Die Unterscheidung zwischen Mittelblau und den zugehörigen Grautönen gelang nur zwei Versuchstieren, während bei den übrigen Tieren keine eindeutige Aussage getroffen werden konnte.

In weiteren Versuchen wurden den Tieren alle Farben ohne Graustufen im unterschiedlichen Wechsel geboten. Dabei zeigte sich eine Präferenz der Tiere für Gelb und Grün, vor Rot, Hellblau und Mittelblau. Diese Ergebnisse verdeutlichen zusätzlich das Farberkennungsvermögen von Rindern.

In der Tierhaltung könnte das Farbsehvermögen in Form von Farbmarkierungen oder farblicher Gestaltung von Ställen praktisch genutzt werden, um allgemeine Leistungsverbesserungen zu erzielen.

7. Summary

The subject of this paper is an investigation of colour perception in cattle. Ethological methods in the form of free choice tests were applied. The six young bulls available for the tests were first trained on the colour green. In this, and in the ensuing tests, the animals were offered three feeding boxes, one marked with a colour card and two with grey cards. The animals had to find and open the box marked with the colour and, upon so doing were rewarded with food. The coloured and grey cards were systematically exchanged before each test. Each of the colours red, yellow, medium blue, green and light blue were tested in combination with six grey shades within the same range of intensity.

The test results showed significantly that red, yellow, green and light blue could be distinguished from grey, thus demonstrating that cattle possess colour vision. Only two animals could differentiate between medium blue and the corresponding grey shades. In the case of the remaining animals the results were inclusive in this point.

In further tests the animals were offered various combinations of colours without corresponding grey shades. A preference for yellow and green to red, light blue and medium blue was established. These results provide additional evidence of colour perception in cattle.

The realisation that cattle can perceive colours could lead to practical applications in husbandry. Coloured markings or colouring of stables might improve the performance of cattle generally.

7. Literaturverzeichnis

- Backhaus, D.: (1959a) Experimentelle Untersuchungen über die Sehschärfe und das Farbsehen einiger Huftiere
Z. Tierpsych. 16, 445-467
- ders.: (1959b) Experimentelle Prüfung des Farbsehvermögens einer Massei-Giraffe
Z. Tierpsych. 16, 468-477
- Brown, R.H.: (1936) Color vision in the rabbit
J. Gen. Psychol. 14, 83-92
- Brown, J.L.; Frank D.S.; La Motte, J.H.; Sechser, J.A.: (1973) Color diskrimination in the cat
J. Gen. Psychol. 84, 543-544
- Buchholtz, C.: (1952) Untersuchungen über das Farbsehen der Hauskatze
Z. Tierpsych. 9, 462-470
- Buddenbrock, W. von: (1952a) Vergl. Physiol.: I Sinnesphysiol.
Basel: Birkhäuser
- ders.: (1952b) Vom Farbsinn der Tiere
Kosmos Ges. Naturfr.
Stuttgart: Franckh
- Cena, M.: (1964) Zoohygienische Beobachtungen über das Verhalten der Milchkühe in Offenstallhaltung
Arch. Tierz. 7, 21-31
- Colvin, S.S.; Burford, C.C.: (1909) Color perception of three dogs, a cat and a squirrel
Psychol. Rev. Monogr. 11, 1-48

- Devoss, J.C.; Ganson, R.: (1915) Colorblindness in cats
J. Animal Behavior 2, 115-139
- Dücker, G.: (1957) Farb- und Helligkeitssehen
und Instinkte bei Viverriden
und Feliden
Zool. Beitr. N.F. 3, 25-99
- ders.: (1959) Fortschritte in der Ermittlung
des Farbsehens bei Säugetieren
Naturwiss. Rundschau 12, 405-414
- Dücker, G.; Schulze, J.: (1973) Das Farbunterscheidungsver-
mögen bei *Sturnus vulgaris*
und *Paddo oryzivora*
Z. Tierpsych. 32, 496
- Frieling, H.: (1968) Das Gesetz der Farbe
Göttingen: Musterschmidt
- Gewalt, W.: (1959) Beiträge zur Kenntnis des
optischen Differenzierungs-
vermögens einiger Musteliden
mit besonderer Berücksichti-
gung des Farbsehens
Zool. Beitr. N.F. 5, 117-175
- Gordon, J.G.: (1970) Food selection by ruminants
Proc. Nutr. Soc. 29, 325-330
- Greeg, F.M.; Jamison, E.; Wilkie, R.; Radinsky, R.:
(1929) Are dogs, cats and raccoons
colorblind
J. of Comp. Psych. 2, 379-395
- Gunter, R.: (1954) The spectral sensitivity of
light adapt cats
J. Physiol. 123, 404-415

- Grzimek, B.: (1952) Versuche über das Farbsehen
von Pflanzenessern
1. Das farbige Sehen und die
Sehschärfe von Pferden
Z. Tierpsych. 9, 23-39
- Hoffmann, G.: (1952) Untersuchungen über das Farb-
sehvermögen des Zebu
Z. Tierpsych. 9, 470-479
- Kalischer, O.: (1929) Über den Farbsinn der Katze
Klin. Wochensch. 8, 905-916
- Kittredge, E.: (1923) Some experiments on the bright-
ness value of red color for
the light adapted eye of the
calf
J.of com. Psych. Zoo.3, 141-145
- Klopfer, F.D.; Butler, R.L.:
(1964) Color vision in swine
Am. Zoologist 4, 294
- Menner, E.: (1929) Untersuchungen über die Retina
mit besonderer Berücksichtigung
der äußeren Korneaschicht
Z. vergl. Phys. 8, 761-826
- Meyer, D.R.; Miles, R.C.:
(1954) Absence of color vision in
the cat
J.of Neurophysiol. 17, 289-294
- Nagel, W.: (1907) Der Farbsinn des Hundes
Zbl. Physiol. 27, 211-247
- Rensch, B.: (1957) Ästhetische Faktoren bei Farb-
und Formsehen von Affen
Z.Tierpsych. 14, 71-99

- | | | |
|--------------------------|--------|---|
| Rensch, B.; Altevogt, A: | (1953) | Visuelles Lernvermögen des Indischen Elefanten
Z. Tierpsych. <u>10</u> , 119-135 |
| Richter, M.: | (1976) | Einführung in die Farbmatrik
Berlin: Walter de Gruyter |
| Riese, G.: | (1975) | Untersuchungen über das Farbsehvermögen des Schafes
München: Inaug. Diss. med. vet. |
| Samojloff, A.: | (1907) | Farbwahrnehmung des Hundes
Zbl. Phys. <u>21</u> , 493-561 |
| Schober, H.: | (1950) | Das Sehen, Band II
Leipzig: Fachbuchverlag |
| ders.: | (1957) | Der Farbsinn
Sonderdr. aus "Studium Generale"
10. Jhg. <u>6</u> Berlin: Springer |
| Schultze, W.: | (1966) | Farbenlehre und Farbmessung
Berlin: Springer |
| Stratton, G.M.: | (1923) | Blood, the color red and the anger of cattle
Psychol.Rev. <u>30</u> , 321-325 |
| Trendelenburg, W.: | (1943) | Über den Licht- und Farbsinn
Preussische Akad. d. Wiss.
Vorträge und Schriften <u>16</u>
Berlin: Walter de Gruyter |
| Wallraven, T.L.: | (1973) | in Color 73
London: Adam Hilger |

8. Anhang:

8.1. Reflexionsintensitätswerte der Farb- und Graustufen

Gelb:	41,1 %	Graustufen:	45,7 %
	<u>41,0</u> %		42,3 %
	40,6 %		41,1 %
			41,0 %
			39,8 %
			36,8 %
Grün:	25,5 %	Graustufen:	28,7 %
	<u>25,2</u> %		26,4 %
	24,6 %		25,2 %
			24,6 %
			20,3 %
Hell-		Graustufen:	23,9 %
blau	<u>20,3</u> %		21,4 %
			20,2 %
			20,1 %
			19,6 %
			16,0 %
Rot:	11,9 %	Graustufen:	16,4 %
	<u>11,2</u> %		12,5 %
	11,0 %		11,3 %
			11,0 %
			10,1 %
			8,0 %
Blau:	9,3 %	Graustufen:	13,6 %
	<u>8,9</u> %		9,8 %
	8,8 %		9,1 %
			8,9 %
			8,4 %
			6,2 %

1: Die unterstrichenen Zahlen wurden als Hauptversuchsfarbe gewählt. Der 1. Wert entspricht Farbton 2, der letzte Farbton 3

8.2. Spektralewerte der einzelnen Versuchsfarben in Prozent

Wellen- länge(nm)	Blau	Hell- blau	Grün	Gelb	Rot
380	13,2	23,6	5,5	6,1	9,3
390	16,4	27,7	6,0	6,2	8,5
400	19,5	31,5	6,2	6,3	7,7
420	24,2	36,2	6,6	6,1	6,9
440	30,9	41,8	6,9	6,1	6,6
460	32,2	46,0	7,8	6,4	6,3
480	23,9	41,8	17,6	7,4	6,0
500	14,1	31,4	39,4	14,4	5,8
520	10,5	21,1	40,5	34,5	5,6
540	5,8	14,3	31,0	60,2	5,7
560	4,9	11,5	22,7	73,7	6,0
580	4,7	10,0	15,6	77,3	8,9
600	4,7	9,7	10,2	78,9	21,5
620	4,9	9,9	8,7	79,2	54,8
640	5,1	10,9	8,2	78,4	72,6
660	5,8	13,5	8,3	78,1	75,0
680	7,0	16,8	9,2	77,8	74,7
700	8,5	21,0	10,0	78,0	75,5
750	16,1	36,9	10,7	79,3	77,6
800	32,3	46,6	15,0	81,2	80,0

C) Versuchsordnung: Teil 1

1.	f46	1f2	53f	4f1	f65	3f2	45f	6f3	f51	2f4
2.	5f2	f46	13f	4f5	23f	f21	6f3	f51	f24	61f
3.	f14	3f5	16f	f34	2f6	31f	f52	6f5	36f	f24
4.	52f	1f4	23f	f64	35f	6f2	f15	f64	31f	f25
5.	f13	45f	6f2	34f	f56	2f1	5f4	f63	24f	1f6
6.	63f	4f2	f51	2f6	f35	12f	56f	f41	4f3	f61
7.	4f2	f15	43f	65f	1f3	f64	23f	1f6	53f	f25
8.	f32	5f6	1f5	f13	54f	f12	3f4	62f	f32	4f6
9.	14f	5f2	f54	36f	5f1	62f	f31	64f	2f4	f35
10.	5f6	34f	f12	4f5	f46	23f	6f1	f25	36f	f13
11.	f21	35f	2f4	f31	26f	34f	f15	36f	1f4	6f5
12.	f62	5f3	f16	42f	1f5	2f3	43f	f52	64f	41f
13.	4f5	f32	15f	2f6	25f	f31	6f5	3f4	f21	64f
14.	3f6	41f	f56	21f	f43	16f	5f2	13f	f45	6f2
15.	61f	6f3	1f4	f51	64f	12f	f54	32f	4f2	f63
16.	f41	26f	4f2	61f	f23	f14	5f6	25f	36f	5f3

1: Bei der Farbe Blau wurde der Versuchsdurchgang 3.-5. in einfacher Pendelbewegung wie bei Versuchsdurchgang 1. durchgeführt, jedoch mit den für den Versuchsdurchgang aufgestellten Graustufen.

2: Versuchsdurchgang 13 und 14 wurde mit der Farbstufe 2 durchgeführt.

3: Versuchsdurchgang 15 und 16 wurde mit der Farbstufe 3 durchgeführt.

Teil 2

17.	3f4	f21	64f	4f5	32f	f15	2f6	2f5	f31	65f
18.	61f	1f4	5f3	f36	46f	f12	f54	32f	4f2	f51
19.	f43	56f	2f4	f63	41f	5f2	16f	f35	6f2	13f
20.	3f6	f21	56f	41f	f16	43f	5f2	f13	45f	f62
21.	f15	2f3	6f4	f35	f46	12f	f56	25f	2f4	f31
22.	34f	f45	6f3	12f	f51	5f3	f26	14f	23f	6f1
23.	f21	35f	2f4	f31	34f	26f	f15	36f	1f4	6f5
24.	4f2	f51	62f	6f4	3f2	f63	41f	f45	13f	5f2
25.	f53	16f	6f4	14f	f56	2f3	2f6	15f	f43	f25
26.	4f3	5f2	31f	f42	5f4	f61	53f	f62	3f6	41f
27.	61f	3f5	21f	6f3	5f2	14f	f32	54f	f24	5f6
28.	42f	f65	3f4	21f	f46	13f	4f5	62f	5f1	f36
29.	5f1	46f	f12	3f5	2f4	f16	43f	25f	f13	3f6
30.	f23	5f4	2f6	41f	f65	31f	15f	6f4	34f	f25

Der Teil 2 wurde nur bei den Farben Rot und Blau nach dem Versuchsdurchgang
12. im Teil 1 eingefügt.

Lebenslauf

Renate G r ä f , geb. Altenberg

Am 10.10.1949 wurde ich als Tochter des Ingenieurs Heinrich Altenberg und seiner Frau Liddy geb. Fritsch in Zell am See/Österreich geboren.

Von 1955 bis 1959 besuchte ich die Volksschule in Stuttgart und trat 1960 in das Olga-Gymnasium in Stuttgart ein. Von 1961 bis 1969 setzte ich meine Ausbildung am Hölderlin-Gymnasium in Heidelberg fort, an dem ich im Juli 1969 das Abitur ablegte.

Vom Wintersemester 1969/70 an studierte ich Zoologie und Veterinärmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. 1976 legte ich das Staatsexamen für Veterinärmedizin ab.

Ab Juni 1976 fertigte ich die vorliegende Dissertation an.

Am 8.9.1972 schloß ich die Ehe mit Peter Gräf in Heidelberg.

München, im April 1977

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. H. H. Sambraus, der die vorliegende Arbeit betreute und mir mit großem Entgegenkommen in vielen Diskussionen Anregungen für den Fortgang dieser Arbeit gab.

Ebenso sei Herrn M. Ziegler gedankt, der durch seine tägliche Hilfe bei den Versuchen und dem sachkundigen Umgang mit den Tieren wesentlich zu dem Gelingen der Versuche beigetragen hat.

Ein weiterer Dank sei Herrn Dr. R. Hilz ausgesprochen, der mir die Messungen der Farb- und Grautafeln ermöglichte und mir darüberhinaus eine fachliche Beratung über die Theorie des Farbsehens vermittelte.

Für die Beratung über statistische Fragen bin ich Dr. K. Osterkorn sehr dankbar.

